



# **Långsiktsplanering med geografiska hänsyn**

**- en studie på Bräcke arbetsområde, SCA Forest and Timber**

**Karl Gustafsson**

**Arbetsrapport 46 1998**

---

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET  
Institutionen för skoglig resurshushållning  
och geomatik  
S-901 83 UMEÅ  
Tfn: 090-786 58 25 Fax: 090-14 19 15, 77 81 16

ISSN 1401-1204  
ISRN SLU-SRG-AR--46--SE



# **Långsiktsplanering med geografiska hänsyn**

**- en studie på Bräcke arbetsområde, SCA Forest and Timber**

**Karl Gustafsson**

## **Arbetsrapport 46 1998**

Examensarbete i skogsuppskattning och skogsindelning

Handledare: Ljusk-Ola Eriksson, SLU  
Magnus Larsson, SCA  
Mats Nilsson, SLU

---

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET

Institutionen för skoglig resurshushållning  
och geomatik

S-901 83 UMEÅ

Tfn: 090-786 58 25 Fax: 090-14 19 15, 77 81 16

ISSN 1401-1204

ISRN SLU-SRG-AR--46--SE

# FÖRORD

“Det totala skogliga planeringsproblemet är komplext..” - Ola Sallnäs 1994.

Redan andra terminen som student på jägmästarprogrammet vid Sveriges lantbruksuniversitet kom jag i kontakt med den skogliga planeringsproblematiken. Ola Sallnäs inledningsfras från en tentamensfråga detta år har etsat sig fast som en etikett på ämnet skoglig planering. Först flera år senare har mina studier i ämnet fått mig att ana vad som ligger bakom ett sådant påstående. Som med så mycket annat gäller att man måste förstå grunderna inom ett ämne innan man inser hur lite man egentligen vet om helheten.

I föreliggande uppsats, som utgör mitt examensarbete om 20 studiepoäng, har jag fått tillfälle att behandla en liten del av detta planeringsproblem. Arbetet har utförts vid institutionen för resurshushållning och geomatik, SLU. Värdföretag för arbetet har varit SCA Forest and Timber. Jag vill här tacka de personer som bistått med ovärderlig hjälp och stöd under arbetets gång.

Vid SCA Forest and Timber tackar jag speciellt *Magnus Larsson* som initierat arbetet. Från Magnus har jag känt det stöd jag behövt i svårigheter och de krav som har gjort studien till en utmaning.

Vid SCA Forest and Timber vill jag också nämna *Ulf Källman* som hjälpt mig med modellmakandets kanske svåraste moment, hänsyn till verkligheten.

Min förhoppning är att resultaten kan hjälpa Er fylla delar av det gap som skiljer skogsföretagets strategiska och operativa planeringsrutiner.

Vid Universitetet vill jag tacka mina handledare:

Prof. *Ljusk-Ola Eriksson* för sitt stora engagemang och för sitt tålamod vid mina många oannonserade besök. Ljusk-Olas klarsynthet och stora kunskap inom området har varit ovärderlig för arbetets fortskridande.

Skog. Dr. *Mats Nilsson* för sitt engagemang, sina synpunkter och tips samt för tidskrävande hjälp med bla GIS-applikationer och utbytesberäkningar.

Övrigt stöd har kommit från andra, liksom jag, bleka examensarbetare på jägmästarkurs 93/97, tack och lycka till!

Umeå i Juli 1998

Karl Gustafsson

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>SUMMARY</b>	<b>5</b>
<b>SAMMANFATTNING</b>	<b>7</b>
<b>1 INLEDNING</b>	<b>9</b>
1.1 Bakgrund, allmänt om skogsföretagets planering	9
1.1.1 Planeringsprocessens delar	9
1.2 Syfte	11
<b>2 MATERIAL</b>	<b>12</b>
<b>3 KRITERIER FÖR PRIORITERING AV SLUTAVVERKNINGSOBJEKT</b>	<b>14</b>
3.1 Inoptimalförlust via regressionsfunktioner	14
3.2 Inoptimalförluster via registerberäkningar	15
3.3 Tillväxtprocent	15
<b>4 MODELLUTVECKLING</b>	<b>16</b>
4.1 Inoptimalförluster	16
4.1.1 Inoptimalförluster i slutavverkning	16
4.1.1.1 IL-Regression	16
4.1.1.2 IL-register	17
4.1.1.3 IL-tillväxtprocent	17
4.1.1.4 Inoptimalförlusternas fördelning	18
4.1.2 Ungskogsgallring	19
4.1.2.1 Gallringsprioritet	19
4.1.2.2 Inoptimalförlust för ungskogsgallring	20
4.1.3 Gallring i medelålders skog	21
4.1.4 Gallring i äldre skog	22
4.2 Koncentrationsaspekter	22
4.2.1 Vägområden	22
4.2.2 Vägöppningskostnad	23
4.2.3 Avverkningssystem	23
4.2.4 Avverkningssäsonger	24
4.3 Virkesuttag	25
4.4 Matematisk formulering	26
4.4.1 Kommentarer till begränsningarna	28
4.5 Kommentarer till modellformuleringen	30
4.6 Sammanfattning av modellens funktion	30

<b>5</b>	<b>RESULTAT</b>	<b>31</b>
5.1	Utvärdering av prioriteringskriterie	31
5.1.1	Kriteriernas förhållande till sann inoptimalförlust.	31
5.1.2	Utfallet av resp kriterie i förhållande till IPAK:s urval	32
5.2	Jämförelse av resultat vid urval utan restriktioner och vid utfall efter optimering	32
5.2.1	Överensstämmelse mellan slutavverkningsurvalet	33
5.2.2	Egenskaper hos utvalda slutavverkningsavdelningar	34
5.3	Resultat från urval med den optimerande modellen	34
5.3.1	Utfall per avverkningsform	37
5.3.2	Utfall per sortiment	38
5.4	Utfall vid olika jämnhetskrav i sortimentsutfall	39
<b>6</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>40</b>
6.1	Rangordningskriterierna	40
6.2	Ekonomiskt utfall enligt modellen	40
6.3	Koncentration	41
6.4	Jämnhetskrav	41
6.5	Problemformulering och lösningstid	41
6.6	Sammanfattning av förslag till utveckling av optimeringsmodellen	44
<b>7</b>	<b>REFERENSER</b>	<b>45</b>

## BILAGOR

## Summary

Long-term strategical planning in Swedish forest companies is usually carried out using the forest management-planning package (FMPP). However, for the transfer from strategical to operational planning there is no established routines.

The purpose of this study has been to develop a routine dealing with operational planning; powerful enough to be implemented on a forestholding of approximately 180'000 acres (One management region at SCA Forest and Timber AB). The operational planning routine should include the logging treatment alternatives; final felling and thinning. The study also included a comparison between different criteria used for the ranking of compartments for final felling and the influence of the choice of such criteria upon the result of the operational planning routine.

The study has been initiated and financed by SCA Forest and Timber.

The ranking of compartments for final felling has been carried out in three different ways.

1. Inoptimality losses calculated through linear regression on material from the strategical planning (Jonsson et. al, 1993).
2. Inoptimality losses through calculations on stand descriptions (Larsson, 1994).
3. Growth increment percentage, based on annual increment calculated through formulas presented by Lindgren (1998).

The rankings based on these criteria has been compared with each other and with the result of the strategical planning carried out with the FMPP. The evaluation did not give a good indication of the usefulness of the criteria.

When applied to the material used in this study, there is no clear indication of which criterion is best correlated with the inoptimality loss calculated by the FMPP.

Inoptimality loss calculated according to Jonsson et. al. can not be directly compared as the comparison is carried out on the same material on which the formula is based.

The operational planning routine developed aims to produce a treatment suggestion for the next ten years. These ten years are divided into five 2-year periods. A mathematical model has been constructed which takes into account two major issues;

1. Inoptimality loss for every compartment and treatment option (based on one of the three criteria listed above)
2. A combined cost for the moving of a loggingteam and the maintenance of the road system onto which it is moved.

This cost is generated as a loggingteam moves into a defined area. Several logging activities within the same area do not increase this "road opening cost" on condition that logging is carried out;

- by the same logging team (2 logging teams).
- within the same 2-year period (periods).
- within the same logging season (4 per period)

The model aims to weigh losses from inoptimal treatment of compartments against benefits from a geographical concentration.

The model is optimizable (through minimisation of costs) with linear programming.

The management region has an obligation of deliverance of raw materials to SCA industries, which has been taken into account in the model as restrictions on annual yield. The following restriction has been specified;

- Total volume per period

- Thinning percentage divided into three different thinning types depending on stand age.
- Total volume per logging season (specified as an interval).
- Even distribution of each specified assortment over the periods (specified as an interval).
- Minimum workload per logging unit per period and logging season

The results of the planning routine shows that the problem is solvable and that a reasonable geographical concentration is possible to achieve. In the results, the reduction of costs due to geographical concentration is roughly ten times as large as the increase in cost due to higher inoptimality. Obviously there is an incitement to concentrate logging activities when creating long-term operative plans. The objective of the developed planning routine was for it to be implemented at SCA Forest and Timber. Some improvement combined with a thorough evaluation of input data can make it a useful tool in their forest management planning. It provides the base for detailed planning in short term planning.

Selections of compartments for final felling based on different ranking criteria have also been done without restrictions for comparison purposes. The hypothesis was that restrictions would narrow the amount of possible solutions thus making solutions very similar irrespective of criteria used.

The selections made by the planning routine show more similarity to each other than the comparison of the unrestricted selections. However, the difference between selections made by the planning routine is still considerably large, putting emphasis on the need for further evaluation of the criteria.

## Sammanfattning

Skogsföretagens långsiktigt strategiska planering sker idag i de flesta fall med Indelningspaketet (IPAK). För överföringen från strategisk till operativ och objektsorienterad planering finns ingen vedertagen rutin.

Syftet med denna studie, som initierats och finansierats av SCA Forest and Timber, har varit att utveckla en rutin för långsiktig operativ planering. Kravet var att planeringsrutinen skulle vara kraftfull nog att implementeras på ett stort skogsinnehav, i detta fall ca 90'000 ha. Planeringsrutinen omfattar åtgärderna slutavverkning och gallring. I studien har också ingått att jämföra olika kriterier för prioritering av slutavverkningsavdelningar och betydelsen av val av sådant kriterie för resultatet av den operativa planeringsrutinen.

För att prioritera avdelningar som skall slutavverkas, har 3 olika prioriteringskriterier beräknats för varje avdelning.

1. Inoptimalförluster via regressionsfunktioner (Jonsson m.fl., 1993)
2. Inoptimalförluster via beräkningar på registervariabler (Larsson, 1994)
3. Tillväxtprocent beräknad via tillväxtfunktioner av Lindgren (1998).

Prioriteringsordningarna baserat på vardera kriterie har därefter jämförts med varandra och med utfallet av den strategiska planeringen. Utvärderingen ger inget entydigt svar på kriteriernas användbarhet. På det undersökta materialet finns ingen signifikant skillnad i kriteriernas korrelation med den inoptimalförlust som beräknats i IPAK (inoptimalförlusten beräknad i IPAK betraktas som facit i studien). Inoptimalförlusten via regressionsfunktioner är svårbedömd då funktionerna bygger på jämförelsematerialet.

Den operativa planeringsrutin som utarbetats skall resultera i åtgärdsförslag för de närmaste 10 åren, uppdelade i 5 tvåårsperioder. En modell är skapad som bygger på avdelnings- och åtgärdsvisa inoptimalförluster samt en sammanslagen kostnad för maskinflytt och vägunderhåll. Denna "vägöppningskostnad" består av kostnaden för maskinflytt med trailer samt underhåll av vägen till följd av att den används. Kostnaden genereras när ett avverkningslag flyttar till ett specificerat vägområde. Fler avverkningar inom samma område genererar ingen ny vägöppningskostnad förutsatt att avverkning sker;

- med samma maskinsystem (2 st)
- under samma period (5 st)
- under samma avverkningssäsong (4st per period)

Syftet med formuleringen är att kunna väga förluster till följd av inoptimala åtgärder mot vinsterna vid geografisk koncentration.

Modellens uppbyggnad gör den möjlig att optimera (kostnadsminimera) med linjär programmering. Arbetsområdets leveranskrav formuleras som restriktioner i modellen. Följande krav är specificerade;

- Totalvolym per period
- Gallringsandel, fördelad på tre olika gallringstyper (ung-, medelålders- och äldreskogsgallring.
- Volym inom tillåtet intervall per avverkningssäsong.
- Sortimentstvis jämna leveranser över perioderna.
- Minsta tillåtna uttag per avverkningssystem per period och avverkningssäsong

Resultatet av urval med optimeringsmodellen visar att god koncentration kan erhållas under givna restriktioner. I de redovisade beräkningarna är koncentrationsvinsterna i



form av lägre flytt- och väghållningskostnad upp till 10 gånger så stora som förlusterna i form av ökade inoptimalförluster. Det finns således ett starkt incitament att ta geografisk hänsyn i den långsiktiga operativa planeringen. Ambitionen med den i studien utvecklade modellen är att den skall kunna tas i bruk inom SCA Forest and Timber. Efter vissa mindre förändringar kan modellen vara praktiskt tillämpbar och resultatet vara ett bra underlag för traktplanläggning i fält.

De urval, baserade på olika prioriteringskriterier, som gjorts med modellen visar en större likhet än motsvarande urval gjort utan hänsyn till restriktioner. Skillnaden mätt i utvalda avdelningar är dock fortfarande stor vilket ställer krav på ytterligare utvärderingar av prioriteringskriteriet.

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund, allmänt om skogsföretagets planering

Den skogliga planeringen för ett skogsföretag går i första hand ut på att få ledning om, och i så fall hur, olika delar av skogen skall åtgärdas under den närmaste framtiden. Centralt för planeringsprocessen är målformuleringen. Målet är det som i teorin styr planeringens utformning. I praktiken blir målformuleringen/målutvärderingen ofta en, i planeringen, integrerad process (Ståhl, m.fl. 1994). Svårigheten med målformuleringen ligger bl.a. i att värdera skogens många nyttigheter i förhållande till varandra.

I ekonomisk teori är målet högsta nuvärde allmänt accepterat. Med varje enskild avdelning som beräkningsenhet blir, återigen i teorin, högsta nuvärde lika med summan av högsta nuvärden för alla avdelningar. För skogsföretaget tillkommer en mängd restriktioner som kan tvinga till avsteg från avdelningsvis optimal skötsel.

- Koncentrationsaspekter.
- Arbetskraft och maskinkapacitet.
- Skogsvårdslagen.
- Leveranskrav mm.

Inom skoglig planering är det vanligt att beräkningar görs baserade på avdelnings- och åtgärdsvisa inoptimalförluster. Användandet av inoptimalförluster förutsätter att ett mål definierats samt vetskap om det handlingsalternativ, för varje avdelning, som ger högsta möjliga måluppfyllnad. Om målet antas vara högsta nuvärde, kan en avvikelse från det bästa handlingsalternativet för en avdelning mätas i förändrat (försämrat) möjligt nuvärde. Skillnaden mellan nuvärdet för det optimala handlingsalternativet och nuvärdet för ett annat alternativ definieras som det andra handlingsalternativets inoptimalförlust. Inoptimalförlusten är, enligt denna definition, således alltid  $\geq 0$ .

$$IL_a = PV_m - PV_a$$

$IL_a$  = Inoptimalförlust för aktuellt handlingsalternativ.

$PV_m$  = Nuvärde vid optimalt handlingsalternativ.

$PV_a$  = Nuvärde vid alternativt handlingsalternativ.

### 1.1.1 Planeringsprocessens delar

Normalt urskiljs två egentliga planeringsnivåer

Strategisk planering

Operativ planering

Den *strategiska* planeringen kan karaktäriseras som en övergripande planering med relativt låg upplösning, som görs för en mycket lång tidsperiod. Tidshorisonten är normalt minst 100 år. Den strategiska planeringen syftar bl.a. till att ge avverkningsnivåer under olika tidsperioder för att skogen skall utvecklas enligt uppsatta mål (Ståhl m.fl. 1994).

Den *operativa* planeringen är objektsorienterad, den genomförs med relativt hög upplösning och syftar till att styra den löpande verksamheten i fältorganisationen.

Kopplingen mellan strategisk och operativ planering måste vara stark, så att de övergripande målen som eftersträvades i den strategiska planeringen kan nås (Jacobsson 1986, Ståhl m.fl. 1994). Även den operativa planeringens tidshorisont kan därför sägas vara lång eftersom alla åtgärder i skogen har effekt på dess långsiktiga

utveckling (Jacobsson 1986). Skillnaden ligger i stället i den operativa planeringens objektsorientering och i dess högre upplösning.

För strategisk planering finns idag ett antal fungerande planeringssystem av vilka indelningspaketet (IPAK) (Jonsson m.fl. 1993) är det, av svenska skogsföretag, mest accepterade. Planering med IPAK bygger på data från ett stickprov av avdelningar som får representera hela innehavet. IPAK används även av SCA Forest and Timber. 1997 gjordes en avverkningsberäkning för hela SCAs skogsinnehav m.h.a. IPAK. Bräcke a.o. var ett av 19 dåvarande arbetsområden inom SCA Skog.

Operativ planering utifrån resultat från IPAK kräver att informationen om optimalt handlingsalternativ för stickprovsavdelningarna kan överföras till samtliga avdelningar. För överföringen av denna information finns idag en föreslagen men ifrågasatt metod; åtgärdsvis tilldelning av inoptimalförluster till samtliga avdelningar via regressionsfunktioner (se kap 3.1). Särskilt problematiskt anses vanligen tilldelning av inoptimalförlust för gallring vara (Jacobsson 1986).

Resultatet av regressionsfunktionerna är en inbördes prioritering av åtgärdsbehovet i samtliga avdelningar som fungerar som stöd vid val av faktiska åtgärder. Prioritering mellan avdelningarna kan även ske med andra jämförelsetal baserade på registervariabler. En nackdel med att använda andra prioriteringskriterier är att de normalt utgår från åtgärdsbehovet i den enskilda avdelningen. Information från den strategiska planeringen går således förlorad, något som, teoretiskt, inte sker vid prioritering med inoptimalförluster baserade på regressionsfunktioner.

Den operativa planeringen sker idag ofta med subjektiva metoder och avdelningsurvalet blir till ett manuellt pusslande där planeraren försöker tillgodose praktiska krav på t.ex. jämna virkesflöden och god koncentration (Källman Pers. Medd.). Ett angreppssätt för att förbättra underlaget för den operativa planeringen är att lägga in en intermediär planeringsnivå som integrerar den strategiska och den operativa. Ett sådant integrerande planeringssteg skall då skapa ett bättre underlag för operativ planering och samtidig överföra information från den strategiska planeringen.

Under 60-70-talen bedrevs forskning på detta område. Brun-Madsen (1964) tog fram en metod för bestämning av optimalt program för slutavverkning och gallring. Problemet med detta, liksom med flera andra liknande arbeten, var att man fick nöja sig med att diskutera sina modeller teoretiskt. För att lösa problemen var dåtidens datakapacitet alltför begränsad. Andra liknande arbeten omfattar bl.a. Andersson (1964), Clutter-Bamping (1965), Björnstad-Risvand (1967) och Andersson (1971).

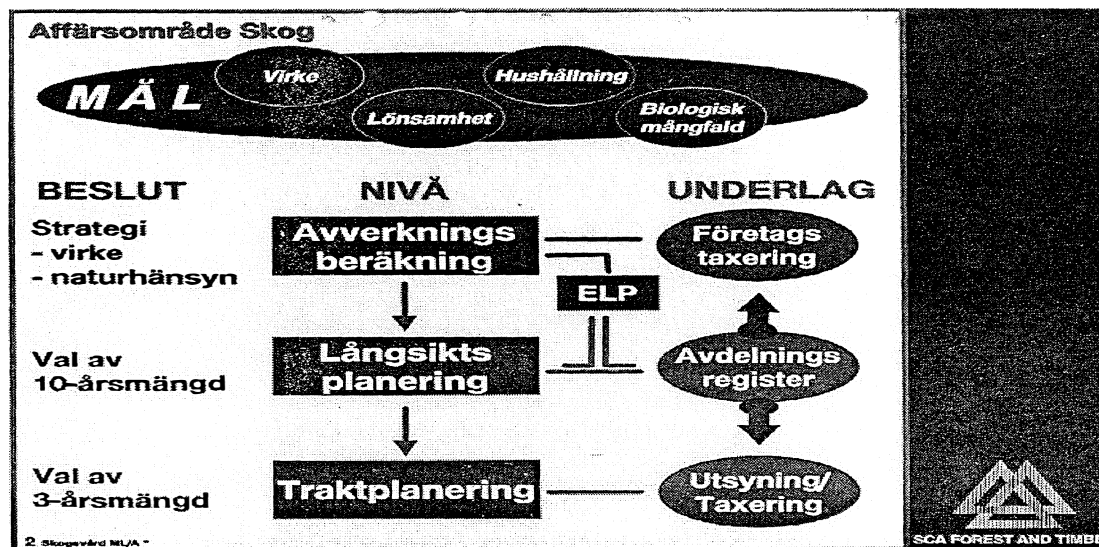
Under senare år har bl.a. Naesset arbetat med datorbaserade planeringssystem med kopplingar till GIS-programvara. Naessets planeringssystem SGIS (Naesset 1997) omfattar dessutom ekonomisk optimering med linjär programmering. Naesset arbetar med geografiska data, innan optimeringen sker, för att konstruera restriktioner till LP-algoritmen. I detta arbete har ambitionen varit att ta hänsyn till geografin i optimeringen.

Idag finns brister i de rutiner för långsiktig och operativ planeringsrutin som är i bruk inom SCA Forest and Timber. Flera moment är subjektiva och tidskrävande. Intresset för ett en ny planeringsrutin är därför stort.

## 1.2 Syfte

Föreliggande studie är uppdelad i två delar. Den första delen av studien syftar till att analysera betydelsen av val av prioriteringskriterie för slutavverkning. Analysen består dels i en jämförelse av ordningen i vilken objekt rangordnas, dels i betydelsen av eventuella skillnader i resultatet efter den operativa planeringen.

Den andra delen av studien syftar till att utveckla en optimerbar planeringsmodell för uttagning av avverkningsobjekt. Planeringsmodellen skall omfatta 10 år uppdelade i 5 tvåårsperioder. Modellen är således långsiktig (Andersson, 1971) och operativ. Den långsiktiga planeringsmodellen skall ta hänsyn till SCA:s krav på sortimentsvis jämna virkesflöden. Samtidigt skall kostnader för förflyttning av avverkningssystem



Figur 1. SCAs planeringsschema.

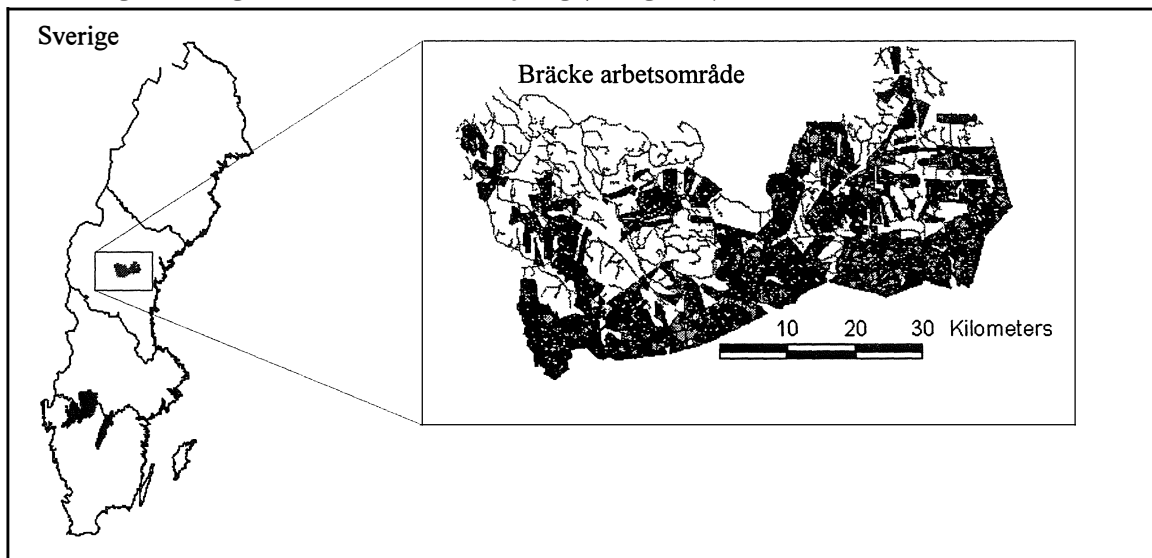
minimeras. I SCA:s planeringsschema nedan (Larsson 1998) förs modellen till steget "Långsiktplanering".

Modellen skall länka samman avverkningsberäkningar, gjorda i Indelningspaketet, med den operativa traktplaneringen som sker löpande på ett arbetsområde. Endast avverkningar berörs, skogsvård och vidaretransport beaktas ej. Studien omfattar ett arbetsområde om ca 90'000 ha.

## 2 Material

All data som använts för beräkningar i detta arbete kommer från SCA Forest and Timber. Information om skogstillståndet har hämtats ur företagets avdelningsregister för Bräcke arbetsområde. Geografiska beräkningar har gjort i företagets digitaliserade skogskarta.

Bräcke ligger i mellersta Norrland ca 10 mil väst om Sundsvall. Den av arbetsområdet förvaltade arealen ligger väl arronderad inom ett område som är utsträckt ca 8 mil i östvästlig riktning och ca 4 mil i nordsydlig (se figur 2).



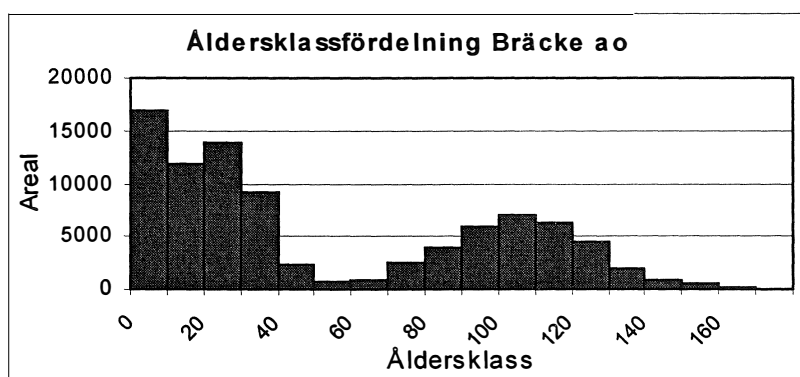
Figur 2. Bräcke arbetsområdes läge i Sverige, mörkare färg repr. SCAs markinnehav. Linjer är vägnätet.

Geografiska data har hämtats ur arbetsområdets digitaliserade avdelningskarta. Uppgifterna är insamlade under företagets senaste heltäckande företagstaxering (TAX VII, 1993-1996). Bräcke arbetsområde förvaltar 89'100 ha skogsmark fördelat på 8468 avdelningar. Då arbetet bara omfattar avverkningsåtgärder har följande urvalsregler tillämpats för att reducera materialet;

Höjd	>	7 m
Grundyta	>	0 m <sup>2</sup>

Dessutom har biotopdelen, i avdelningar som innehåller naturvärdesbiotoper, undantagits avverkning. Om mer än 50 % av avdelningen klassat som naturvärdesbiotop har hela avdelningen undantagits avverkning. Utsorteringen resulterar i ett urval på 4983 avdelningar på vilka beräkningar gjorts. Dessa omfattar en sammanlagd areal på ca 35'000 ha.

Avverkningsberäkningar (AVB) har för Bräcke arbetsområde gjorts med Indelningspaketet. Resultatet av AVB:n ligger till grund för vidare beräkningar i detta arbete. Total årlig avverkning under de närmaste åren har beräknats till 213'000 m<sup>3</sup>fub varav 160'000 m<sup>3</sup>fub skall utgöras av slutavverkning och 53'000 m<sup>3</sup>fub (25%) skall vara gallring. Företagets målsättning på Bräcke ao är att minst 50% av gallringen skall utgöras av förstagallring (Källman. pers med).



Figur 3. Åldersklassfördelning på Bräcke arbetsområde.

SCA Forest and Timbers har över hela sitt innehav en ojämn åldersklassfördelning. Speciellt märks detta som en låg andel medelålders skogar (40-70 år).

Vid avdelningsvis optimal skötsel skulle detta resultera i ett ojämnt virkesflöde med en avsevärt lägre uttagsnivå i slutavverkning om ca 30 år. Tidsrymden då nedgång i uttag skulle ske kallas härfter "ålderssvackan". Krav på jämnhet i avverkningsuttagen resulterar i en strategi med omfattande gallringar i äldre avdelningar som sedan överhålls för att kunna slutavverkas i ålderssvackan.

Huvuddelen av beräkningarna i denna studie bygger på registerdata. Uppgifterna i det aktuella avdelningsregistret är för skogsbrukets förhållande relativt nya (1993→) men uppvisar ändå en stor variation då de jämförs med noggrant inmätta stickprovsavdelningar. Korrelationsanalys mellan registervärden och noggrant inmätta värden från objektiv inventering används för att bedöma registrets precision. Standardavvikelsen/medeltalet brukar kallas variationskoefficient och ger uttryck för variabelns relativa variation, se tabell 1.

Tabell 1. *Variationskoefficienter hos några viktiga registervariabler.*

Variabel	Medeltal	Standardavvikelse	Variationskoefficient
<b>Ålder (år)</b>	111	20,5	0.185
<b>Virkesförråd (m3sk)</b>	215	50,9	0.236

Den stora spridningen i skattning av virkesförråd är anmärkningsvärd eftersom företagets skogar nyindelats mellan 1992-95. En kontrolltaxering i samband med nyindelningen uppvisar betydligt bättre noggrannhet. En orsak kan vara att stora delar av Bräcke ao (gamla Ljungå) var ett av de första försöksområdena. Detta område innehåller dessutom mycket stamtät skog med kända svårigheter att skatta virkesförråd korrekt (Larsson, pers. Medd).

### 3 Kriterier för prioritering av slutavverkningsobjekt

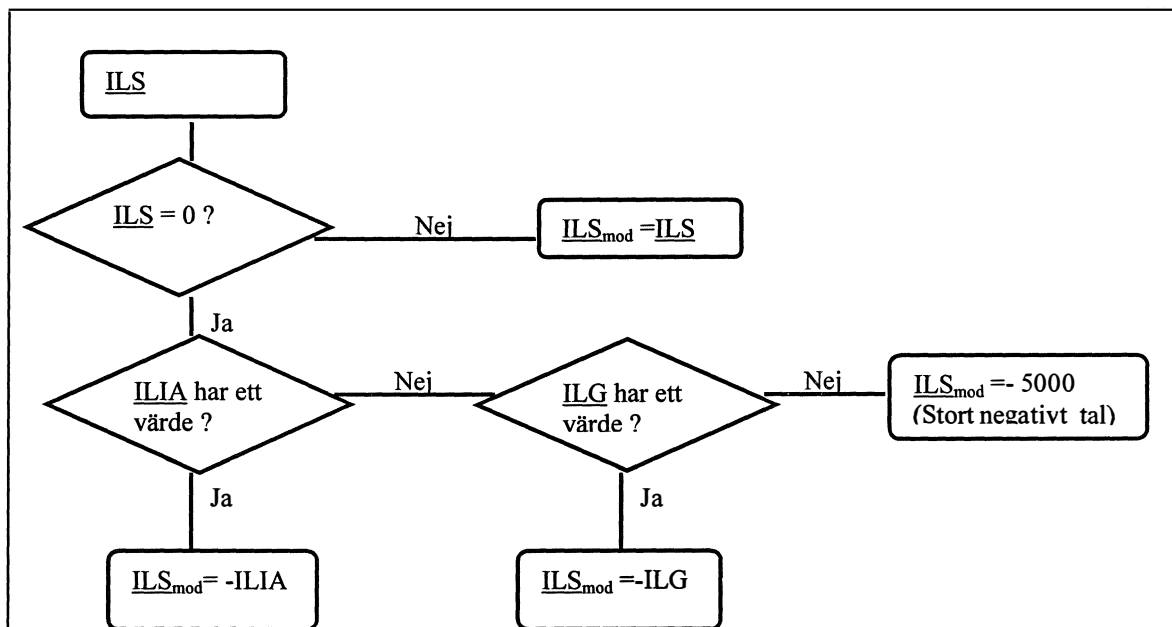
Vid strategisk planering med Indelningspaketet (Jonsson. m.fl. 1993) räknas inoptimalförlusterna fram för, slumpmässigt utvalda, noggrant inventerade avdelningar. De åtgärder som testas är slutavverkning, gallring eller ingen åtgärd alls. För effektiv operativ planering krävs inoptimalförluster för alla avdelningar. Jonsson m.fl. (1993) föreslog användning av regressionsanalys för att skapa funktioner för inoptimalförluster baserade på registervärden. En alternativ metod för att ta fram inoptimalförluster är att göra samtliga beräkningar direkt på registervärden, något som gjorts av Larsson (1994). Idag prioriterar SCA sina slutavverkningar efter tillväxtprocent, en variabel som är lätt att beräkna och som erfarenhetsmässigt har visat sig vara användbar.

En viktig del av denna studie är jämförelsen mellan olika kriterier för prioritering av slutavverkningsavdelningar. I studien undersöks de ovan nämnda prioriteringskriterierna; inoptimalförlust via regressionsfunktioner, inoptimalförlust via beräkningar på registervärden och tillväxtprocent.

#### 3.1 Inoptimalförlust via regressionsfunktioner

Indelningspaketets rutiner genererar tre inoptimalförlustvärden. Ett för respektive slutavverkning (ILS), gallring (ILG) samt ingen åtgärd (ILIA). Det optimala alternativet har inoptimalförlustvärdet 0. I de fall som en åtgärd är orimlig, t.ex. slutavverkning i plantskog, genereras ingen inoptimalförlust för denna åtgärd.

I den operativa planeringen räcker det med inoptimalförluster för slutavverkning och gallring. En viss modifiering av inoptimalförlusterna är dock motiverad enligt följande. Antag att optimal åtgärd för två avdelningar är slutavverkning. ILS är då = 0 i båda fallen. För att ändå rangordna avdelningarna sätts den modifierade ILS, ( $ILS_{mod}$ ) = - inoptimalförlust för ingen åtgärd. (Detta blir då "kostnaden" för att slutavverka istället för att inte göra något) Generellt skapas  $ILS_{mod}$  enligt följande regler.



Figur 4. Schema för omföring Inoptimalförlust → Modifierad inoptimalförlust.

De modifierade inoptimalförlusterna används för att skapa prioritetsfunktionen. Denna skall beskriva inoptimalförlusten som funktion av registervariabler. Funktionen skapas med hjälp av regressionsanalys. Den färdiga funktionen tillämpas sedan på hela avdelningsregistret. Inoptimalförlusten beräknad via regressionsfunktioner benämnes härafter *IL-regression*.

### 3.2 Inoptimalförluster via registerberäkningar

Inoptimalförluster kan också beräknas direkt på registervariabler. En metod för detta har utvecklats av Larsson (1994). Nuvärdet av avdelningen vid avverkning vid olika tidpunkter räknas fram. Inoptimalförlusten för avverkning mäts som skillnaden mellan nuvärdet vid avverkning vid den tidpunkt som ger högsta nuvärdet och avverkning direkt. I denna studie har sådana beräkningar enbart gjorts för åtgärden slutavverkning. Värdet på inoptimalförlusten är då alltid relaterad till alternativet ingen åtgärd. Inoptimalförlusten för slutavverkning beräknad direkt via registervariabler benämnes härafter *IL-register*.

### 3.3 Tillväxtprocent

Tillväxtprocenten har i detta arbete beräknats avdelningsvis som kvoten av årlig tillväxt och stående virkesförråd. Begreppet ger således virkesförrådets volymmässiga förräntning. Inoptimalförlusten för slutavverkning beräknad via tillväxtprocent benämnes härafter *IL-tillväxtprocent*. Omföring från tillväxtprocent till en inoptimalförlust i slutavverkning är gjord som beskrivs i kap 4.1.1.3.



## 4 Modellutveckling

Utvecklandet av en modell i denna studie syftar till att skapa en planeringsrutin för långsiktig operativ planering (se figur 2). Modellen formuleras med målet högsta ekonomiska utbyte. Övriga mål (naturvård mm) formuleras som restriktioner och är således statiska. Analys av planeringsresultatet utgör grund för ändringar i restriktionsformuleringarna och eventuell omplanering.

Rutinen skall ge svar på frågan vilka avdelningar som skall åtgärdas under var och en av de följande 5 tvåårsperioderna. Åtgärdsalternativen är begränsade till slutavverkning, gallring, eller ingen åtgärd. Urvalet skall utgöra underlag för arbetsområdets operativa beslut och traktplanläggning i fält.

Urvalet görs med hänsyn till följande krav:

- (i) Minimera kostnaden till följd av avdelningsvis inoptimalt handlande (kap 4.1 inoptimalförluster) samt kostnaden för flytt av avverkningssystem och våghållning (kap 4.2 Koncentrationsaspekter).
- (ii) SCA Forest and Timbers krav på jämnhet i virkesflöde. (kap 4.3 Virkesuttag)
- (iii) Skogshushållningsmål enl AVB.
- (iv) Jämmt utnyttjande av maskinkapacitet. .

I problemet används samma inoptimalförlust, utan ränta, i slutavverkning och äldreskogsgallring, för alla perioder. För ung- och medelåldersskogsgallring grundar sig inoptimalförlusten på gallringsprioritet enligt SKS gallringsmallar (Anon 1985). Inoptimalförlusten skrivs då fram mellan perioderna för att ta bättre hänsyn till tidsaspekten. Skogstillståndet skrivs fram enligt Lindgren (1998). Utbytet i avverkning beräknas enligt Ollas (1980). Därefter görs en skattning av timrets fördelning på olika klasser och en värdering av utfallet görs med gällande prislista.

### 4.1 Inoptimalförluster

Avdelningsvisa inoptimalförluster för slutavverkning räknas fram på tre olika sätt som principiellt förklarats i kap 3. Bara avdelningar äldre än 70 år anses slutavverkningsbara.

Inoptimalförluster för gallring räknas fram för tre olika gallringstyper: ungskogs-, medelåldersskogs- och äldreskogsgallring. Endast en åtgärd per avdelning tillåts över hela planeringsperioden. En sådan restriktion medför att antaganden om skogstillståndet efter åtgärden inte behöver göras, den borde dessutom tämligen väl överensstämma med praktiskt skogsbruk under svenska förhållanden (Andersson, 1971).

#### 4.1.1 Inoptimalförluster i slutavverkning

##### 4.1.1.1 IL-Regression

IL-regression framräknas enligt tidigare m.h.a. regressionsfunktioner. En sortering är gjord bland stickprovsavdelningarna så att bara avdelningar som uppfyller följande krav har legat till grund för regressionsfunktionen.

Ålder	>	60 år
Höjd	>	0 m
Grundyta	>	0 m <sup>2</sup>

Dessutom särskiljs avdelningar som enligt den objektiva stickprovsinventeringen innehåller mer än en behandlingsenhet. Avdelningar där registerdata uppenbarligen är ett medelvärde mellan två eller flera behandlingsenheter har tagits bort. Avdelningar,

där registerdata uppenbarligen avser en dominerande behandlingsenhet, har fått ingå i funktionsmaterialet.

46 avdelningar uppfyller kraven och har därför använts. Funktionen är skapad via linjär regressionsanalys i statistikprogrammet SPSS version 7.0. En summering av funktionen presenteras nedan.

REGRESSIONSMODELLEN				
Beroende variabel	Oberoende variabler	Koefficienter		
		B	Medelfel	T
Mod. Inoptimalförl.	Tallandel	11,102	9,600	0,254
	Höjd	-450,088	166,6	0,01
	Ålder	-209,065	117,16	0,082
	H100	267,034	211,22	0,213
	Ålder^2	0,747	0545	0,178
	Konstant	19391	6723,3	0,006
MODELLSAMMANFATTNING				
R	R kvadrat	Justerad R kvadrat	Medelfel	
0,632	0,399	0,324	2067,3	

Figur 5. Regressionsmodellen.

#### 4.1.1.2 IL-register

Inoptimalförlust för slutavverkning framräknas här genom att samtliga beräkningar, t.ex. framskrivning och utbytesberäkningar är gjorda direkt på registeruppgifter. Framskrivningen är gjord enligt Lindgren (1998), utbytesberäkningar enligt Ollas (1980). Funktioner för avverkningskostnader och värdering av utbytet har tillhandahållit av SCA Forest and Timber och överensstämmer med de som använts för den strategiska planeringen. Nuvärdet för avdelningarna har beräknats för alternativ med slutavverkning under den närmaste 5-årsperioden eller under någon av de 7 följande femårsperioderna, dvs de närmaste 40 åren. I denna undersökning har inoptimalförlusten i slutavverkning beräknats genom att 5 årsperioden som har det högsta nuvärdet identifierats. Nuvärdet vid slutavverkning i den första perioden dras ifrån detta värde för att erhålla inoptimalförlusten. Om högsta nuvärdet återfinns i den första perioden har detta nuvärde dragits ifrån nuvärdet vid avverkning i den andra 5 årsperioden. Negativa inoptimalförluster skapas därigenom för att rangordna avdelningar som bör avverkas omedelbart (jämför kap 3.1). För noggrannare beskrivning av beräkningsgången, se Larsson (1994).

#### 4.1.1.3 IL-tillväxtprocent

Avdelningsvis tillväxtprocent har i denna studie beräknats genom att dividera medeltalet av de närmaste 5 årens tillväxt (Lindgren 1998) med stående virkesförråd enligt avdelningsregistret. För att jämföra optimeringen med tillväxtprocentkriteriet med övriga optimeringar har procenttalet överförs linjärt till en "inoptimalförlust". Omföringen är gjord så att inoptimalförlusternas fördelning skall likna fördelningarna för de båda andra kriterierna och storleksmässigt överensstämma med inoptimalförlusterna beräknade i IPAK. Den linjära omföringsfunktionen har skapats iterativt och redovisas nedan:

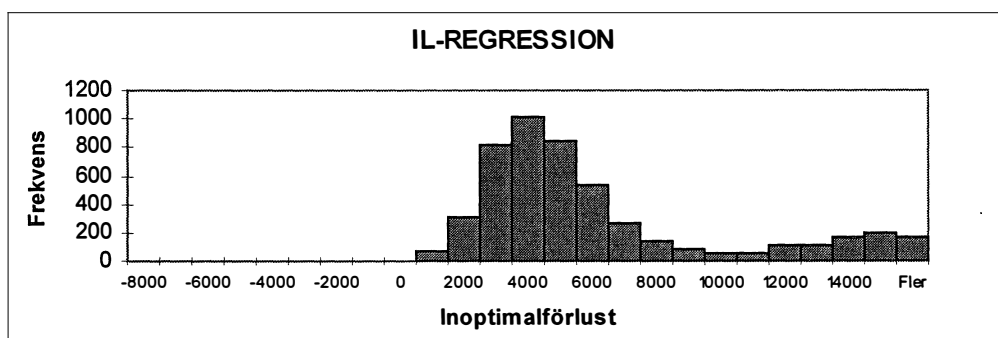
$$\text{IL-tillväxtprocent} = -4000 + \text{Tillväxtprocent} * 5000$$

#### 4.1.1.4 Inoptimalförlusternas fördelning

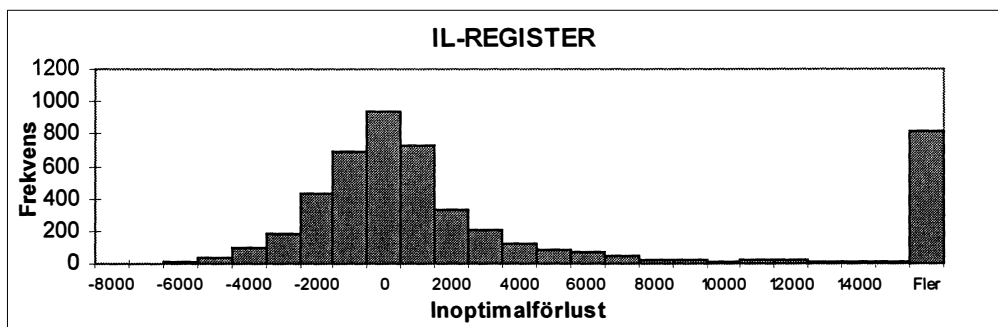
Inoptimalförlusternas storlek och fördelning skiljer sig från varandra vilket påverkar resultatet av urvalsrutinen. Figurerna 6-8 visar inoptimalförlusternas fördelning. Sammanfattande data om dem presenteras i tabell 2.

Tabell 2. Sammanfattande data om prioriteringskriteriernas storlek och fördelning.

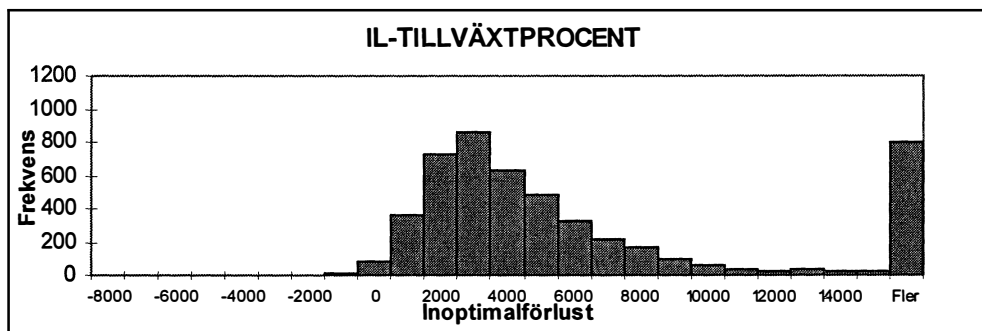
Prioriteringskriterie	Medeltal	Standardavvikelse
IL-regression	5639 kr	3958 kr
IL-register	5021 kr	11888 kr
IL-tillväxtprocent	7142 kr	8708 kr



Figur 6. Fördelning IL-regression.



Figur 7. Fördelning IL-register.



Figur 8. Fördelning IL-tillväxtprocent.

Vid urval i den optimerande urvalsmodellen har viss modifiering av IL-registerkriteriet gjorts. Anledningen är att detta kriterie omfattar en väldigt stor del negativa inoptimalförluster. Om urvalet sker med många negativa inoptimalförluster kommer modellen välja ut virkesfattiga avdelningar för att kunna tillgodoräkna sig så mycket "inoptimalvinster" som möjligt innan angivet uttag uppfyllts. Resultaten från

optimeringar med negativa inoptimalförluster styrker detta och är anledningen till att 5000kr/ha har adderats på varje avdelnings inoptimalförlust då slutavverkningarna prioriterats med IL-register.

#### 4.1.2 Ungskogsgallring

Utfallet av den strategiska planeringen med indelningspaketet på Bräcke arbetsområde har visat sig stämma dåligt överens med SCA:s syn på ungskogsgallring (Larsson pers. medd.). Otillräckliga modeller för att ta hänsyn till den kritiska tidpunkten för förstagallringen gör det angeläget att finna andra mått på prioritering av åtgärder i ungskog än de i Indelningspaketet förekommande. I den befintliga versionen av IPAK saknas bl.a. tillräckliga medel för att variera gallringsform över tiden. Tidiga gallringar skjuts därför ofta för långt fram i tiden (Larsson, pers. medd.). I denna studie har behovet av gallring i ungskog istället mätts på grundval av Skogsstyrelsens gallringsmallar (Anon 1985). Även detta är en generalisering men har bedömts vara det bästa alternativet.

##### 4.1.2.1 Gallringsprioritet

Avdelningarna har delats in i klasser baserat på de i registret angivna ståndortsindexet (h100 enligt Skogshögskolans boniteringssystem). Klassbredd är satt till 2 meter. Tall och gran har behandlats separat. Contortaavdelningar har behandlats som tall. För att få ett uttryck för gallringsprioritet har funktioner skapats, med utgångspunkt i SKS gallringsmallar, som tilldelar varje avdelning en relativ "gallringsprioritet" (en funktion per bonitetsklass). Funktionerna antar värdet 1,0 för den kombination av höjd och grundyta vid vilken gallring rekommenderas av skogsstyrelsen. Funktionsvärdet växer linjärt med ökad grundyta (vid given höjd). I det bearbetade materialet förekommer avdelningar med så hög siffra för gallringsprioritet som 1,9. Det innebär att grundytan i dessa avdelningar är 1,9 gånger så hög som den vid vilken Skogsstyrelsen rekommenderar gallring.

De framtagna funktionerna redovisas nedan.

Tabell 3. Gallringsprioritetsfunktioner för avdelningar i respektive bonitetsklass.

Bonitetskl.	Gallringsprioritetsfunktion
T14	$GY/(4.17 + 1.17 * HÖJD)$
T16	$GY/(5.43 + 1.14 * HÖJD)$
T18	$GY/(6.63 + 1.13 * HÖJD)$
T20	$GY/(8.92 + 1.18 * HÖJD)$
T22	$GY/(9.98 + 1.05 * HÖJD)$
T24	$GY/(11.02 + 1.04 * HÖJD)$
T26	$GY/(10.07 + 1.13 * HÖJD)$
G16	$GY/(8.9 + 1.1 * HÖJD)$
G18	$GY/(10 + 1.09 * HÖJD)$
G20	$GY/(10.07 + 1.13 * HÖJD)$
G22	$GY/(11.08 + 1.08 * HÖJD)$
G24	$GY/(10.17 + 1.17 * HÖJD)$
G26	$GY/(12.15 + 1.08 * HÖJD)$

Där:

GY = aktuell grundyta.

HÖJD = aktuell höjd.

För att ta hänsyn till den snabba tillväxten i ungskogarna och vikten av god timing i gallringsingreppen, räknas gallringsprioriteten fram förr var och en av de fem

perioderna. Volymtillväxten mellan perioderna beräknas enligt Lindgren (1998). Periodvis framskrivna ingångsvärden på höjd och grundyta erhålls enligt följande samband.

Grundytetillväxten anses ha en fast relation till den kända volymtillväxten:

$$GRUNDYTETILLVÄXT = \left( \frac{VOL1}{VOL2} \right)^{0,60}$$

Där:

VOL1 = volym i period 1.

VOL2 = volym i period 2.

Grundytan i period 2 fås genom att multiplicera grundytetillväxten med grundyta i period 1. Formtalet räknas fram i period 1 enligt följande samband och anses konstant över perioden

$$FORMTAL = \frac{VOL1}{GRUNDYTA * HÖJD}$$

Höjden i period 2 blir enligt nedanstående formel

$$HÖJD2 = \frac{VOL2}{FORMTAL * GRUNDYTA2}$$

Där:

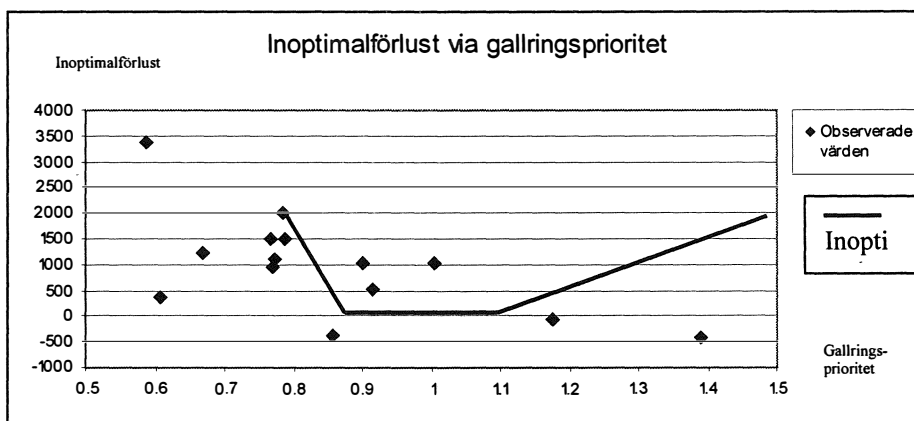
GRUNDYTA2 = Grundyta i period 2.

HÖJD” = Höjd i period 2.

Beräkningsgången ger höjd och grundyta i period 2. Genom att göra om beräkningarna med dessa som ingångsvärden erhålls nästa periods värden. Beräkningsgången upprepas till värden erhållits för samtliga 5 perioder.

#### 4.1.2.2 Inoptimalförlust för ungskogsgallring

För att kunna använda gallringsprioriteterna i optimeringsmodellen har de omförts till ett inoptimalförlustvärde. Utformningen av inoptimalförlusterna bygger delvis på resultat av den strategiska planeringen. Observerade värden på inoptimalförluster i gallring enligt IPAK finns plottade mot gallringsprioriteter framräknade på registervariabler i figur 9. Inlagd linje illustrerar grafiskt omräkningsfunktionerna i tabell 4. Den sista delen av den inlagda funktionen syftar till att värdera förlusten av ett för sent gallringsingrepp.



Figur 9. Grafisk illustration av överföringsfunktioner gallringsprioritet  $\Rightarrow$  inoptimalförlust.

De grafiskt illustrerade funktionerna i figur 9 redovisas i tabell 4.

Tabell 4. Funktioner för överföring från gallringsprioritet till inoptimalförlust.

Gallringsprioritetsklass	Inoptimalförlustfunktion
0.8-0.9	$18000-20000 \cdot \text{gallringsprioritet}$
0.9-1.1	0
1.1-1.5	$-5500+5000 \cdot \text{gallringsprioritet}$

Uttag vid gallring är i samtliga avdelningar satt till 35% av stående volym. Inoptimalförluster för åtgärden "Ungskogsgallring" har tilldelats avdelningar i åldersintervallet 25-50 år. Gallring tillåts av urvalsmodellen enbart då en avdelnings gallringsprioritet är mellan 0,8 och 1,5. Avdelningar vars gallringsprioritet blir större än 1,5 någon gång under planeringsperioden utgör tvingande gallringsobjekt. Gallring skall då ske i någon av perioderna innan perioden i vilken gallringsprioriteten överstiger 1,5. På Bräcke finns en stor mängd ungskogsavdelningar som bör gallras inom kort. Uttaget i ungskogsgallring har därför satts högt för att undvika att dessa avdelningar eftersätts.

#### 4.1.3 Gallring i medelålders skog

Inoptimalförluster för gallring i medelålders skog har tagit fram på samma sätt som för ungskogen. Följande funktioner har skapats ur SKS gallringsmallar:

Tabell 5. Gallringsprioritetsfunktioner för avdelningar i respektive bonitetsklass.

Bonitetskl.	Gallringsprioritetsfunktion
T14	$GY/(5,08 + 1,08 \cdot HÖJD)$
T16	$GY/(6,73 + 1,06 \cdot HÖJD)$
T18	$GY/(9 + 1 \cdot HÖJD)$
T20	$GY/(10 + 1 \cdot HÖJD)$
T22	$GY/(13,18 + 0,86 \cdot HÖJD)$
T24	$GY/(14,25 + 0,87 \cdot HÖJD)$
T26	$GY/(15,33 + 0,83 \cdot HÖJD)$
G16	$GY/(8,35 + 1,15 \cdot HÖJD)$
G18	$GY/(10,98 + 1,04 \cdot HÖJD)$
G20	$GY/(14,04 + 0,92 \cdot HÖJD)$
G22	$GY/(14,15 + 0,92 \cdot HÖJD)$
G24	$GY/(15,82 + 0,89 \cdot HÖJD)$
G26	$GY/(16,71 + 0,86 \cdot HÖJD)$

Där:

GY = aktuell grundyta.

HÖJD = aktuell höjd.

Avdelningar som är aktuella för åtgärden "gallring i medelålders skog" är avdelningar i åldersintervallet 50-75 år. Uttaget är i samtliga avdelningar satt till 35% av stående volym. Överföring från gallringsprioritetstal till inoptimalförlust för gallring i medelålders skog görs på samma sätt som för ungskogsgallring. Gallringen tillåts i avdelningar och perioder med gallringsprioritet mellan 0,8-1,5. Avdelningar vars gallringsprioritet överstiger 1,5 någon gång under planeringsperioden, behandlas på samma sätt som motsvarande ungskog.

#### 4.1.4 Gallring i äldre skog

Inoptimalförlusten för gallring i äldre skog har satts till Uttagsnivån\*Aktuell inoptimalförlust för slutavverkning. Uttagsnivån är i samtliga fall satt till 35% av stående volym. Funktionen för tilldelande av inoptimalförlust för äldreskogsgallring får följande utseende.

$$IL\text{-}\ddot{A}ldreskogsgallring = 0.35 * IL\text{-}slutavverkning \text{ (aktuellt kriterium)}$$

Avdelningar som är aktuella för åtgärden "äldreskogsgallring" är avdelningar i åldersintervallet 75-110 år.

### 4.2 Koncentrationsaspekter

Då kostnader för flytt av avverkningssystem utgör en stor del av de kostnader som är påverkbara med objektsurvalet, har det varit angeläget att ta stor hänsyn till dem. I modellformuleringen beaktas detta genom att flytt- och väghållningskostnader införs. Flytt- och vägstkostnaderna aggregeras till en "vägöppningskostnad" kopplad till respektive vägområde (se kap 4.2.1 vägområden och kap 4.2.2 Vägöppningskostnad) Avdelningar som uppfyller följande villkor genererar bara en vägöppningskostnad:

- (i) ligger inom samma geografiska område (dvs utfallet av ev. avverkning uttransporteras till samma vägområde).
- (ii) kan avverkas med samma avverkningssystem.
- (iii) kan avverkas under samma period och avverkningssäsong.

Vinster till följd av geografisk samordning vägs därmed i monetära termer mot förluster till följd av avsteg från de tids- och avdelningsvis optimerade åtgärderna så att en bästa lösning hittas (Larsson 1994).

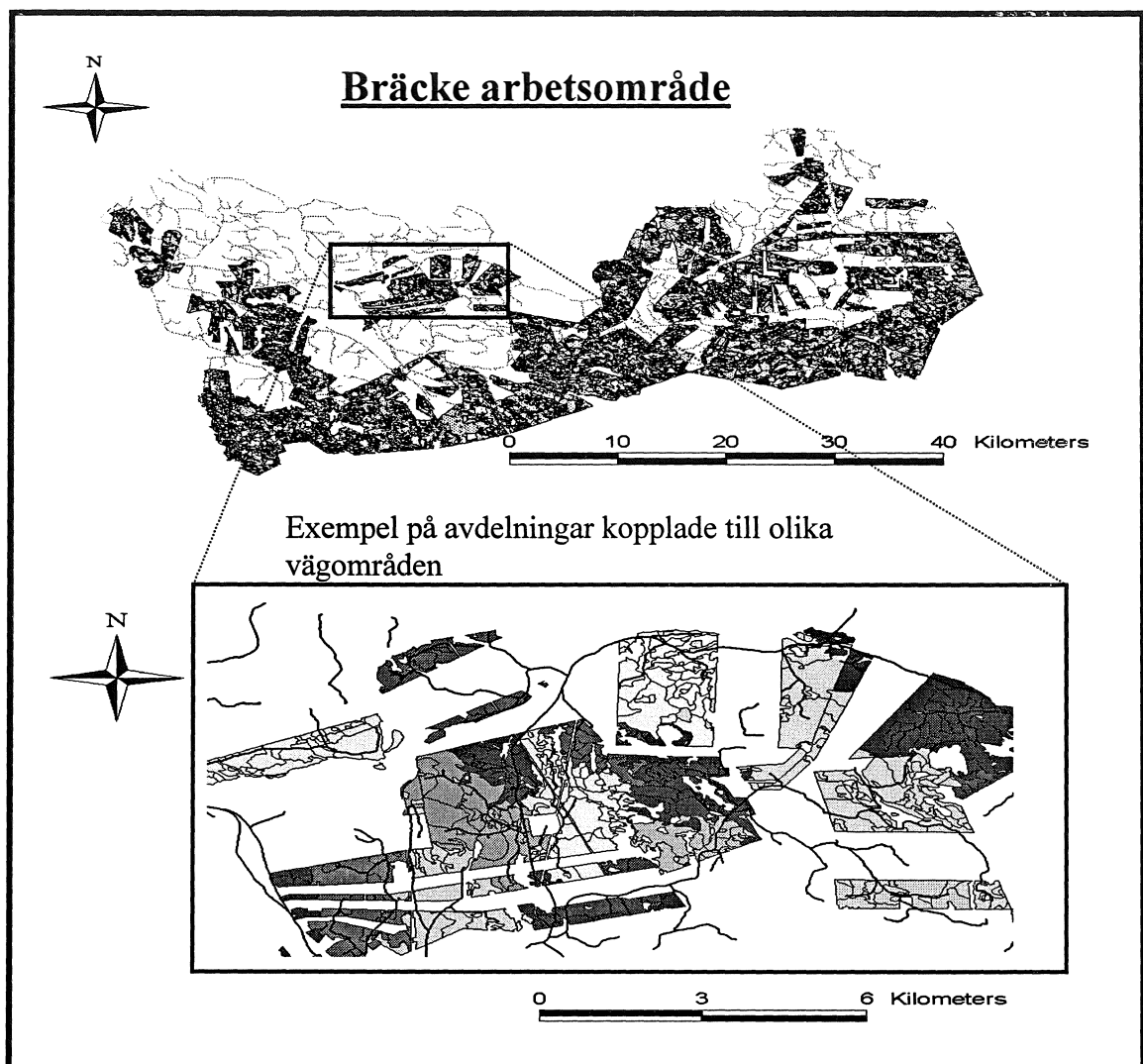
#### 4.2.1 Vägområden

Vägsystemet har delats in i vägområden, sammanlagt 200 st. Indelningen av vägnätet i vägsystem har skett manuellt efter enkla indelningsregler (Källman, pers. medd. 1997):

- Längsta avstånd inom ett vägområde på enskilda vägar, mellan 3-7 km.
- Längsta avstånd inom ett vägområde på allmänna vägar, mellan 1-3km.

I enskilda fall förekommer avvikelser från båda dess regler.

Varje avdelning har sedan kopplats till närmaste vägområde, dvs det område till vilken virke förmodas uttransporteras. I modellen tas inte någon hänsyn till vägområdenas inbördes läge. Exempel på hur avdelningar knyts till vägområden visas i figur 10.



Figur 10. Exempel på avdelningar kopplade till olika vägområden. Polygoner inom skogsskiften utgörs av avdelningar. Stora avdelningar är skogsvårdbestånd som ännu inte nyindelats.

#### 4.2.2 Vägöppningskostnad

Öppningskostnad för ett vägområde är flyttkostnad för ett avverkningssystem och väghållningskostnad. Flyttkostnaden är beräknad ur aktuell trailerprislista. Väghållningskostnaden för att använda vägområdet en gång är beräknad som 50% av den totala årliga väghållningskostnaden för området.

Flyttkostnad: 2 maskiner à 1101 kr (26-30 km), framkörning 2 x 400 kr (40 km)  
(Trailerprislista 1997)

Väghållning:  $0.50 \cdot 2500$  kr/km (vid varje intrång).  
(Källman pers. medd. 1997)

#### 4.2.3 Avverkningssystem

På arbetsområdet förekommer idag olika avverkningssystem. Dessa har delats in i två klasser: små (a) och stora (b). De små avverkningssystemen avverkar avdelningar vars medeldiameter < 18 cm (detta skall motsvara en medelstamvolym på ca 0.15 m<sup>3</sup>f) samt



alla ungskogsgallringar, oavsett diameter. De större systemen avverkar övriga avdelningar (Källman pers. medd.).

Minivolymer per avverkningssystem har specificerats, enligt nedan, per period och säsong för att säkerställa en viss jämnhet i arbetsbelastning.

Tabell 6. Mininivåer för uttagen volym per system och avverkningssäsong.

Avverkningssäsong	MASKINUTNYTTJANDE (min-nivåer)	
	Maskinsystem a	Maskinsystem b
Tjällossning	500 m3f	55000 m3f
Sommar	8000 m3f	110000 m3f
Höst	3000 m3f	70000 m3f
Vinter	10000 m3f	120000 m3f

#### 4.2.4 Avverkningssäsonger

I modellen har året delats in i fyra avverkningssäsonger. Dessa är tjällossning-, sommar-, höst- och vintersäsong. Indelningen är gjord utifrån de olika krav på markens bärighet som föreligger under respektive säsong. I varje period (2 år) förekommer bara fyra avverkningssäsonger. Det som här kallas en avverkningssäsong är alltså egentligen två på varandra följande somrar, höstar, vintrar eller tjällossningssäsonger. Anledningen till att upplösningen inte är per år är att begränsa problemet så att en lösning kan genereras i optimeringsprogrammet. Tio delperioder skulle fördubbla antalet heltalsvariabler vilka utgör den kritiska faktorn som påverkar lösningsmöjligheten. Troligen bildas ett så stort antal avverkningstrakter att mängderna går halvera utan påtagligt ökade kostnader.

Avdelningarna har beroende på bärighet förts till respektive avverkningssäsong (tabell 7.). I lösningen har avverkning av en avdelning bara tillåtits under den tilldelade avverkningssäsongen. Under vintersäsongen skulle det vara praktiskt möjligt att avverka avdelningar med bättre bärighet än de angivna. Detta tillåts inte i modellen i syfte att "hushålla" med marker med bra bärighet. Bara avdelningens bärighet har styrt till vilken avverkningssäsong avdelningen förts, terrängtransport- och vägbärighet har inte beaktats. Bärigheten på terrängtransport borde beaktas i problemet men uppgifter om detta saknas i SCA:s register. Vägplanering vid SCA ligger sekventiellt efter långsiktsplaneringen. Det är således vägplaneringen som påverkas av långsiktsplaneringen

Tabell 7. Tillåtna bärighetsklasser under resp avverkningssäsong.

Avverkningssäsong	Tillåten bärighet	Antal månader per år
Tjällossning	1	1-2 mån
Sommar	3	3,5-4,5 mån
Höst	2	1,5-2,5 mån
Vinter (Tjälad mark)	3-5	3,5-4,5 mån

### 4.3 Virkesuttag

Arbetsområdets roll som virkesleverantör till SCA:s industrier medför ett antal leveranskrav som även de påverkar handlingsutrymmet. Mot bakgrund av avverkningsberäkningarna i indelningspaketet åläggs arbetsområdet avverkningsnivå och sortimentsvisa jämnhetskrav för sina leveranser. Följande krav ställs på det periodvisa virkesflödet:

- (i) Totalt uttag: > 426'000 m<sup>3</sup>fub
- (ii) Gallringsuttagens andel av total avverkning: 23-27%.
- (iii) Ungskogsgallring 40'000- 45'000 m<sup>3</sup>f/period
- (iv) Gallring i medelålders skog 20'000 –25'000 m<sup>3</sup>f/period
- (v) Äldreskogsgallring < 65'000 m<sup>3</sup>f /period
- (vi) Uttaget av varje sortiment skall vara inom ±10% från medeluttaget av samma sortiment, räknat över alla perioder.
- (vii) Totalt uttag per avverkningssäsong och period skall vara:

Tjällossning:	9-17%	av totalt uttag under perioden.
Sommar:	30-37%	
Höst:	12-20%	
Vinter	30-37%	

Värden härrör från SCA Forest and Timbers strategiska planering och från diskussioner med, på företaget, berörd personal.

Virkesvolymerna har skrivits fram med funktioner för avdelningsvis tillväxt som skapats av Ola Lindgren (1998). Utbytet från avverkningar är beräknade med Ollas utbytesfunktioner (Ollas 1980). Aktuella sortiment är talltimmer, grantimmer, tallmassa, granmassa, lövmassa. All contorta har behandlats som tall. Från alla avdelningar har 5% av stående volym räknats bort som generell naturvårdshänsyn. I gallringsavdelningar är uttaget 35% av den, för naturvård reducerade, stående volymen.

## 4.4 Matematisk formulering

Utifrån kostnader och krav som specificerats i kap 4.1-4.3 har en matematisk modell konstruerats för att optimera objekturvalet (Se modellen i matrisform i bilaga 1).

$$\text{Minimera } Y = \sum_{t=1}^P \sum_{b=1}^B \sum_{e=1}^E \left( \sum_{a=1}^A \sum_{f=1}^F IL_{itf} * X_{itf b e} + \sum_{k=1}^{AV} V_{kt b e} * Z_{kt b e} \right)$$

### Under bivillkor:

$$(1) \quad \sum_{t=1}^P \sum_{f=1}^F \sum_{b=1}^B \sum_{e=1}^E X_{itf b e} \leq 1 \quad \text{För varje } i (i=1,2,\dots,A)$$

$$(2) \quad \sum_{t=1}^P \sum_{i=1}^A \sum_{f=1}^F UT_{itsf} * X_{itf} = UT_{ts} \quad \text{För varje } s (s=1,2,\dots,S)$$

och varje t (t= 1,2..P)

$$(3) \quad \frac{\sum_{t=1}^P UT_{ts}}{P} * G_{us} \leq UT_{ts} \leq G_{ös} * \frac{\sum_{t=1}^P UT_{ts}}{P} \quad \text{För varje } t (t=1,2,\dots,P)$$

och varje s (s= 1,2..S)

$$(4) \quad UTT_{tb} = \sum_{a=1}^A \sum_{s=1}^S \sum_{f=1}^F \sum_{e=1}^E UT_{itsf b} * X_{itf b e} \quad \text{För varje } t (t= 1,2,\dots,P)$$

och varje b (b= 1,2..B)

$$(5) \quad \sum_{b=1}^B UTT_{tb} * G_{utb} \leq UTT_{tb} \leq G_{ötb} * \sum_{b=1}^B UTT_{tb} \quad \text{För varje } b (b= 1,2..B)$$

och varje t (t= 1,2...P)

$$(6) \quad \sum_{b=1}^B UTT_{tb} = UTT_t \quad \text{för varje } t (t= ,2,\dots,P)m$$

$$(7) \quad UTT_t \geq 426000 \quad \text{för varje } t (t= 1,2..P)$$

$$(8) \quad UTTG_t = \sum_{i=1}^A \sum_{s=1}^S \sum_{b=1}^B \sum_{e=1}^E UT_{itsf} * X_{itfbe}$$

För varje t (t= 1,2..P)  
för f = 2

$$(9) \quad UTT_t * G_{UG} \leq UTTG_t \leq G_{\emptyset} * UTT_t$$

För varje t (t=1,2..P)

$$(10) \quad Z_{ktbe} \geq X_{itfbe}$$

för alla avdelningar (i)  
som hör till ett  
vägområde (k)

$$(11) \quad Z = \{1,0\}$$

$$(12) \quad X \geq 0$$

$$(13) \quad UTT_{tbe} = \sum_{i=1}^A \sum_{s=1}^S \sum_{f=1}^F UT_{itsf} * X_{itfbe}$$

för varje t (t=1,2...P)  
och varje b (b=1,2...B)  
och varje e (e=1,2)

$$(14) \quad UTT_{tbe} \geq G_{tbe}$$

för varje t (t=1,2...P)  
och varje b (b=1,2...B)  
och varje e (e=1,2)

### **Där:**

**Y** objektfunktionens värde

#### **Variabler**

<b>X<sub>itf</sub></b>	Åtgärdsvariabel för avdelning i period t avverkningsform f.
<b>Z<sub>ktbe</sub></b>	1 om vägområde k öppnas under period t, avverkningssäsong b avverkningssystem e. 0 om vägområdet ej öppnas.
<b>UTT<sub>t</sub></b>	Totalt uttag per period t.
<b>UT<sub>ts</sub></b>	Totalt uttag av sortiment s under period t.
<b>UTT<sub>tb</sub></b>	Totalt uttag per avverkningssäsong b och period t.
<b>UTT<sub>Gt</sub></b>	Totalt uttag i gallring per period t.
<b>UTT<sub>tbe</sub></b>	Totalt uttag per period t, säsong b och avverkningssystem e.

### Koefficienter

<b>V<sub>ktbe</sub></b>	Kostnad att öppna vägområde k under period t, avverkningssäsong b för avverkningssystem e.
<b>I<sub>litf</sub></b>	Inoptimalförlust avverkning i avdelning i under period t med avverkningsform f.
<b>U<sub>tisft</sub></b>	Utfall av sortiment s i avdelning i med avverkningsform f under period t.
<b>G<sub>öb</sub></b>	Övre andel av totalvolym under avverkningssäsong b
<b>G<sub>ub</sub></b>	Undre andel av totalvolym under avverkningssäsong b
<b>G<sub>ös</sub></b>	Största tillåtna uttag för sortiment s, som andel av medeluttaget av sortiment s över alla perioder.
<b>G<sub>us</sub></b>	Minsta tillåtna uttag för sortiment s, som andel av medeluttaget av sortiment s över alla perioder.
<b>G<sub>ög</sub></b>	Övre intervallsgräns för andelen gallring av totalt uttag.
<b>G<sub>ug</sub></b>	Undre intervallsgräns för andelen gallring av totalt uttag.
<b>G<sub>tbe</sub></b>	Undre gräns för tillåten volym per period t, säsong b och avverkningssystem e.

### Indexbegränsningar

<b>A</b>	Antal avdelningar (4996 st)
<b>B</b>	Antal avverkningssåsonger (4 st)
<b>E</b>	Antal avverkningssystem (2 st)
<b>F</b>	Antal avverkningsformer (2st)
<b>P</b>	Antal perioder (5 st)
<b>S</b>	Antal sortiment (5 st)
<b>AV</b>	Antal vägområden (200 st)

### Index

<b>i</b>	avdelningsnr
<b>b</b>	Avverkningssäsong ( 1. Tjällossning, 2. Sommar, 3. Höst, 4. Vinter)
<b>e</b>	Avverkningssystem (a. liten, b. stor)
<b>f</b>	Avverkningsform (1.Slutavverkning, 2.Gallring)
<b>t</b>	Period (1-5)
<b>s</b>	Sortiment (1.Talltimmer, 2. Grantimmer, 3. Tallmassa, 4. Granmassa, 5. Lövmassa)
<b>k</b>	Vägområde

#### **4.4.1 Kommentarer till begränsningarna**

Begränsning (1) ger uttryck att endast en avverkningsåtgärd per avdelning är tillåten under hela planeringsperioden.

Ekvation (2) definierar  $U_{ts}$  som totalt uttag per sortiment (s) och period (t).

Begränsning (3) ger uttryck för att utfallet av sortiment (s) under period (t) skall ligga inom angivet andelsintervall ( $G_{us} - G_{ös}$ ) från medeluttaget av detta sortiment räknat över samtliga perioder.

Ekvation (4) definierar  $UTT_{tb}$  som totalt uttag per avverkningssäsong (b) och period (t).

Begränsning (5) ger uttryck för att uttaget under period (t) och avverkningssäsong (b) skall ligga inom angivet andelsintervall ( $G_{ub}-G_{\bar{o}b}$ ) av totalt uttag under perioden.

Ekvation (6) definierar  $UTT_t$  som totalt uttag per period (t).

Begränsning (7) ger uttryck för kravet på minsta totala avverkningsvolym.  
Begränsningen hindrar inte att större uttag görs. Detta regleras dock av att fler avverkningar än vad som krävs ger ett högre värde på objektfunktionen och därmed väljs bort vid optimeringen.

Ekvation (8) definierar  $UTTG_t$  som totalt gallringsuttag per period (t).

Begränsning (9) ger uttryck för att gallringsuttaget per period (t) skall ligga inom angivet andelsintervall ( $G_{UG} - G_{\bar{o}G}$ ) av totalt uttag i perioden.

Begränsning (10) ger uttryck för att vägöppningsvariabeln måste anta större eller lika stort värde som avverkningsvariablerna hos anknutna avdelningar.

Begränsning (11) definierar vägöppningsvariablerna till heltalsvariabler, tillåtna värden; 0 eller 1.

Begränsning (12) inskränker avverkningsandelarna till positiva värden.

Ekvation (13) definierar  $UTT_{tbe}$  som total volym per period (t), säsong (b) och avverkningssystem (e).

Begränsning (14) ger uttryck för krav på minsta tillåtna uttag per period (t), säsong (b) och avverkningssystem (e) skall ligga över angiven gräns.

## 4.5 Kommentarer till modellformuleringen

Den matematiska formuleringen av modellen i kap 4.4 innebär att, bara lösningar där vägvariablerna antar heltaliga värden tillåts. Detta förklaras av att flyttkostnaden uppkommer i sin helhet vid varje flytt mellan vägområden. Även vad gäller avverkningsaktiviteter vore heltaliga variabler att föredra. Detta har dessvärre inte varit möjligt med tillgänglig beräkningskapacitet. Vid de optimeringar som gjorts inom ramen för detta arbete har avverkningsvariablerna varit kontinuerliga för att underlätta beräkningsarbetet som trots detta varit ytterst tidskrävande. Detta har inneburit att ett litet antal avdelningar bara delvis avverkats vid varje optimering. Vid sammanställning och presentation av optimeringens åtgärdsförslag har dessa avdelningar tagits bort helt om avverkningsandelen varit mindre än 50% och tagits med i sin helhet om avverkningsandelen varit större än 50%. Vid redovisning av volymsutfall och ekonomiskt resultat har motsvarande justering inte gjorts. Precisionsvinsten har ansetts liten i förhållande till det omfattande manuella beräkningsarbete som krävts.

Rutinen har skapats utifrån förutsättningen att den skall kunna optimeras med linjär programmering i optimeringsprogrammet CPLEX version 4.0. Problemformuleringen för CPLEX innebär konstruktion av en problemfil i MPS-format (se Cplex manual). MPS-filen generas med ett programpaket skrivet, av författaren, i Borland Turbo Pascal version 7.0.

## 4.6 Sammanfattning av modellens funktion

Modellens uppbyggnad möjliggör hänsyn till både den tidsrelaterade och den geografiska aspekten av operativ planering, såsom beskrivet av Larsson (1994). Optimeringsmodellen väljer ut avverkningsobjekt så att summan av "vägöppningskostnaden" och avdelningarnas inoptimalförluster minimeras. Kraven på utfallet är en angiven minsta total volym. Av totalvolymen skall viss andel utgöras av gallringar i någon form. Gallringsvolymernas fördelning mellan olika gallringsformer specificeras också. Det totala utfallet fördelar sig fritt mellan sortimenten men med sortimentsvis krav på jämnhet mellan perioderna. Koncentrationsvinster innebär att flera avverkningsaktiviteter delar på flytt och vägunderhållskostnaden (vägöppningskostnad) förutsatt att följande villkor är uppfyllda:

- (i) Avdelningarna ligger inom samma vägområde.
- (ii) Avverkningarna sker i samma period.
- (iii) Avverkningarna sker under samma avverkningssäsong.
- (iv) Avdelningarna kan avverkas med samma maskinsystem.

## 5 Resultat

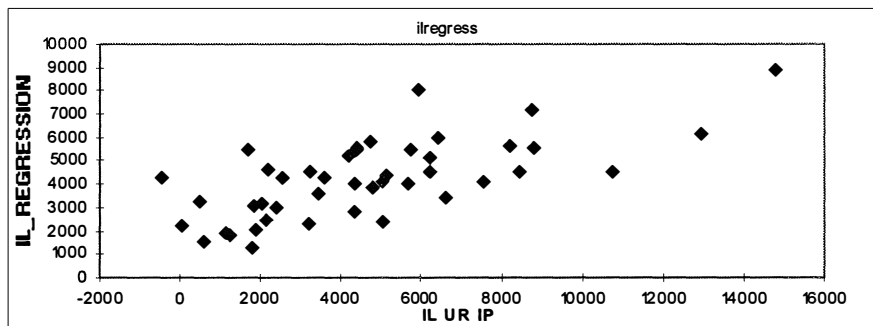
Resultatdelen omfattar både en jämförelse av rangordningskriterierna och resultatet av urval med optimeringsmodellen. Resultaten redovisas i följande ordning:

- (i) Jämförelse av prioriteringskriterie.
- (ii) Jämförelse av urvalsresultat baserat på olika prioriteringskriterier, utan restriktioner resp. efter optimering.
- (iii) Resultat av urval med den optimerande urvalsmodellen.
- (iv) Utfall vid olika jämnhetskrav i sortimentsutfall.

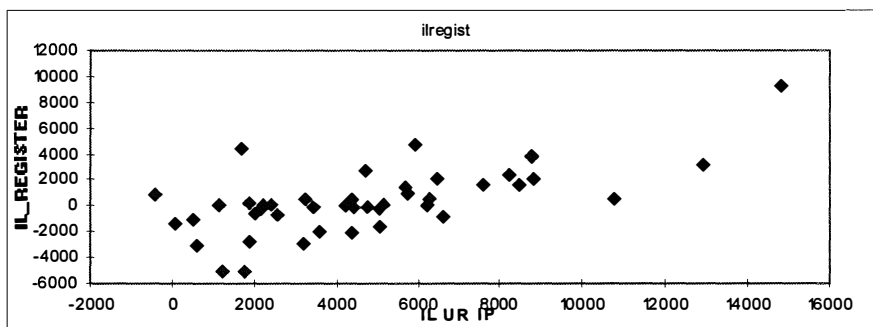
### 5.1 Utvärdering av prioriteringskriterie

#### 5.1.1 Kriteriernas förhållande till sann inoptimalförlust.

För de avdelningar som ingått i stickprovsinventeringen för den strategiska planeringen, jämförs respektive prioriteringskriterie med den inoptimalförlust som IPAK genererat. I fallen med IL register och IL-tillväxtprocent är en sådan jämförelse relevant. I fallet med IL-regression visar jämförelsen bara hur väl man lyckats med konstruktionen av funktionen. För bättre analys hade krävts ytterligare inventerade avdelningar som inte ingått som regressionsmaterial till funktionen. (Något som mycket väl kan göras i efterhand).

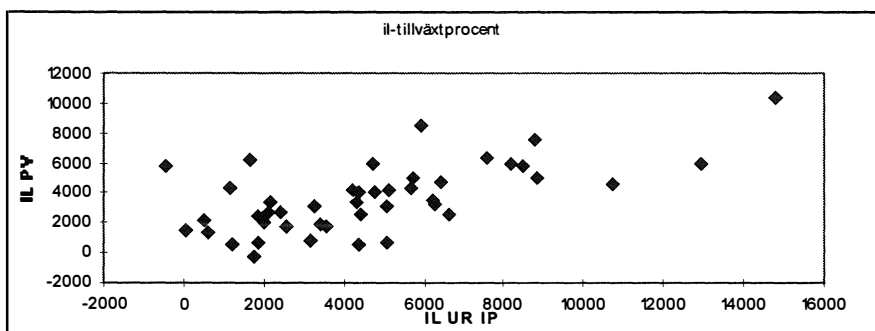


Figur 11. Inoptimalförlust via regressionsfunktioner plottad mot "sann" inoptimalförlust.



Figur 12. Inoptimalförlust via registerberäkningar plottad mot "sann" inoptimalförlust.





Figur 13. Inoptimalförlust via tillväxtprocent plottad mot "sann" inoptimalförlust.

De olika prioriteringskriterierna korrelerar med "sant" inoptimalförlustvärde enligt tabell 8. Notera hur nära varandra de olika kriterierna hamnar i denna analys.

Tabell 8. Prioriteringskriterierna korrelation med "sann inoptimalförlust".

Prioriteringskriterie	Korrelation med "sann" inoptimalförlust
IL-regression	0,689
IL-register	0,653
IL-tillväxtprocent	0,640

### 5.1.2 Utfallet av resp kriterie i förhållande till IPAK:s urval

Urvalet av slutavverkningsavdelningar baserat på de olika prioriteringskriterierna jämförs med de stickprovsavdelningar som föreslagits till slutavverkning i den strategiska planeringen (IPAK). Den strategiska planeringen utgör facit efter vilka prioriteringskriterierna bedöms.

IPAK-körningen resulterar i 12, till slutavverkning, föreslagna avdelningar under de 2 första femårsperioderna. Av dessa finns bara 5 med i det material på vilket beräkningar gjorts. Anledningen till detta är att avdelningar som saknar höjd, grundyta eller andra viktiga registervariabler inte har kunnat inkluderas i problemet. I de flesta fall beror detta på att avdelningen avverkats sedan företagstaxeringen inför den strategiska planeringen och där registret uppdaterats efter denna avverkning. Alla dessa fem avdelningar återfanns i det optimerade urvalet då IL-regression varit prioriteringskriterie. För kriterierna IL-register och IL-tillväxtprocent var överensstämmelsen 4 resp 3 avdelningar.

Ett så litet material som 5 avdelningar kan inte anses tillräckligt för att dra några slutsatser om prioriteringskriteriernas tillförlitlighet. Resultatet bör därför tolkas med försiktighet.

## 5.2 Jämförelse av resultat vid urval utan restriktioner och vid utfall efter optimering

För slutavverkning jämförs de avdelningar som valts ut baserat på respektive kriterie. Jämförelsemängden är önskat slutavverkningsuttag under 5 perioder om vardera 2 år (totalt 1'600'000 m<sup>3</sup>fub)

Mängden har valts ut, dels utan restriktioner, dvs de högst prioriterade avdelningarna enligt varje kriterie, dels med hjälp av den optimerande modellen. I fallet med urvalet utan restriktioner har avdelningarna rangordnats efter inoptimalförlust per hektar/virkesförråd per hektar (dvs inoptimalförlust per kubikmeter). Detta är i

praktiken det mått som det optimerade urvalet kommer att ha rangordnats efter och omföringen är gjord för att göra jämförelsen mer relevant. Tabell 9 visar hur stor överensstämmelsen är mellan slutavverkningsurvalet för varje prioriteringskriterie utan restriktioner respektive efter optimering.

Tabell 9. Sammanställning av överensstämmelse mellan utvalda slutavverkningsobjekt utan restriktioner resp efter optimering.

Kriterie	Utfall utan restr.	Utfall efter optimering	Överensstämmelse
IL-regression	808 st	819 st	659 st (82%)
IL-register	834 st	850 st	657 st (79%)
Tillväxtproc.	928 st	922 st	694 st (75%)

Skillnaden i inoptimalförlust mellan alternativen utan restriktioner och efter optimering framgår av tabell 10 och kan uttydas som kostnaden för restriktionerna.

Tabell 10. Sammanställning över total inoptimalförlust i slutavverkning utan restriktioner resp. efter optimering.

Kriterie	Inoptimalförlust utan restr.	Inoptimalförlust efter optimering.	Ökad inoptimalförlust
IL-regression	11'166'497 kr	12'311'374 kr	1'144'877 kr
IL-register	11'270'575 kr	13'025'699 kr	1'755'094 kr
Tillväxtproc.	6'114'500 kr	7'824'300 kr	1'709'800 kr

### 5.2.1 Överensstämmelse mellan slutavverkningsurvalet

Likheten mellan de olika prioriteringskriterierna redovisas i tabell 11 som andel av avdelningarna som är identiska mellan utfallen.

Tabell 11. Jämförelse av utfallet med tre olika prioriteringskriterier (utan restriktioner, max är antalet avdelningar i det urval som resulterat i det minsta antalet avdelningar).

Jämförda prioriteringskriterier		Överensstämmelse
- IL-regression	<> IL-register	628 avdelningar (max 808) (78%)
- IL-regression	<> PV	556 avdelningar (max 808) (69%)
- Pv	<> IL-register	696 avdelningar (max 834) (83%)

Restriktionerna som läggs till vid urval med planeringsrutinen gör urvalen, baserade på olika kriterier, mer lika. Överensstämmelsen mellan slutavverkningsavdelningar ökar vilket framgår av tabell 10.

Tabell 12. Jämförelse av utfallet med tre olika prioriteringskriterier (efter optimering).

Jämförda prioriteringskriterier		Överensstämmelse
- IL-regression	<> IL-register	662 avdelningar (max 819) (81%)
- IL-regression	<> PV	622 avdelningar (max 819) (76%)
- Pv	<> IL-register	720 avdelningar (max 850) (85%)

### 5.2.2 Egenskaper hos utvalda slutavverkningsavdelningar

Även karaktären på de för slutavverkning utvalda avdelningarna varierar. I sammanställningen nedan presenteras genomsnitt för några viktiga registervariabler i de avdelningar som är uttagna med respektive kriterie.

Av den större likheten i avdelningsurval efter optimering följer naturligt en mindre skillnad i de valda avdelningarnas registervariabler.

Tabell 13. Sammanställning av avdelningsegenskaper hos utvalda slutavverkningsavdelningar.

Variabel \ kriterie	IL regress		IL register		Tillväxtprocent	
	Utan restriktioner	efter optimering	Utan restriktioner	efter optimering	Utan restriktioner	efter optimering
Medelålder (år)	121	120	123	121	127	125
Medelhöjd (m)	20,7	20,4	20,4	20,2	19,8	19,6
Medelgrundyta (m <sup>3</sup> /ha)	32,1	31,7	32,6	32,2	31,1	30,9
Medelförråd (m <sup>3</sup> sk/ha)	317	309	318	311	296	291
Medeltillväxt (m <sup>3</sup> sk/ha)	3,53	3,50	3,34	3,37	2,90	3,02
Medelbonitet (h100)	20,8	20,6	21,1	20,9	20,5	20,4

### 5.3 Resultat från urval med den optimerande modellen

I tabell 14 redovisas en sammanställning av det ekonomiska resultatet av optimeringar baserade på respektive kriterie. Notera skillnaden i inoptimalförluster för slutavverkning. Denna skillnad beror i huvudsak på skalskillnader i inoptimalförlusterna. Betydelsen av skalskillnaderna diskuteras i kap 6.2.

Tabell 14 Summering av kostnader för avverkning och "vägöppning".

Prioriterings Kriterie	IL slutavverkning	Vägöppnings Kostnad	Objektfunktionens Värde
IL-regression	12'311'374 kr	4'582'260 kr	21'927'990 kr
IL-register	13'025'699 kr	4'831'592 kr	23'864'340 kr
IL-tillväxtprocent	7'824'300 kr	4'655'678 kr	17'396'094 kr

Genom att värdera de olika lösningarna med ett annat kriterie än det som använts för att generera lösningen kan skillnader detekteras. I tabell 15 redovisas resultatet av att värdera respektive lösning med hjälp av de andra kriterierna. Resultatet har jämförts med det första kriteriets ursprungliga lösning. Bara summan av inoptimalförluster i slutavverkning ingår. Det som redovisas i tabell 15 är försämringen i resultat för ett visst kriterie när det har fått värdera uttaget i slutavverkning föreslaget i en lösning som genererats m.h.a. ett annat kriterie.

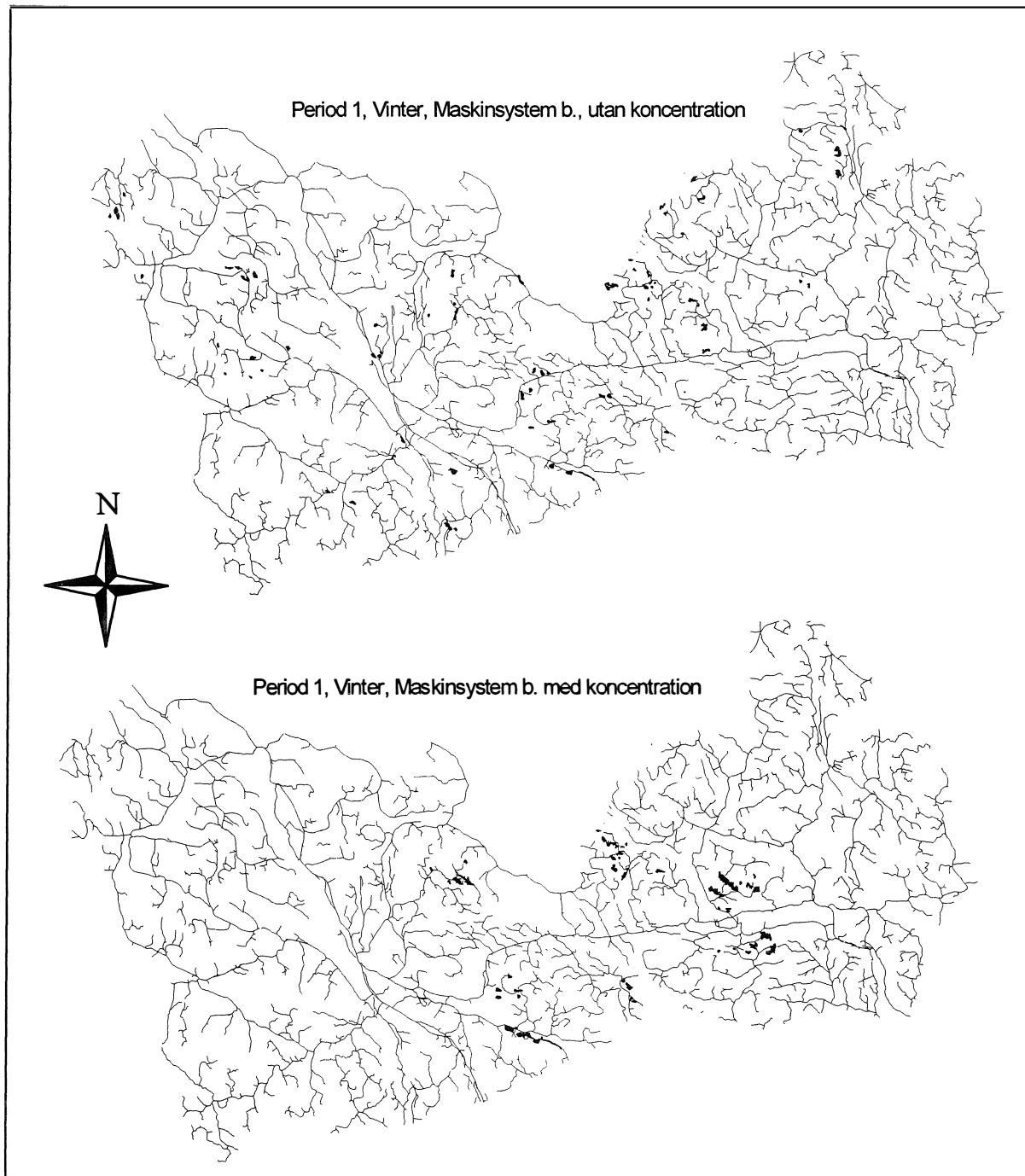
Tabell 15. Skillnad i resultat då lösning värderas med annat kriterie än det som använts för att generera lösningen.

	Lösningen genererad m.h.a. följande kriterie		
Värderingskriterie	IL-regression	IL-register	IL-tillväxtprocent
IL-regression	0 kr	1'029'812 kr	2'637'295
IL-register	1'805'187 kr	0 kr	1'819'894
IL-tillväxtprocent	2'321'150 kr	584'550 kr	0 kr

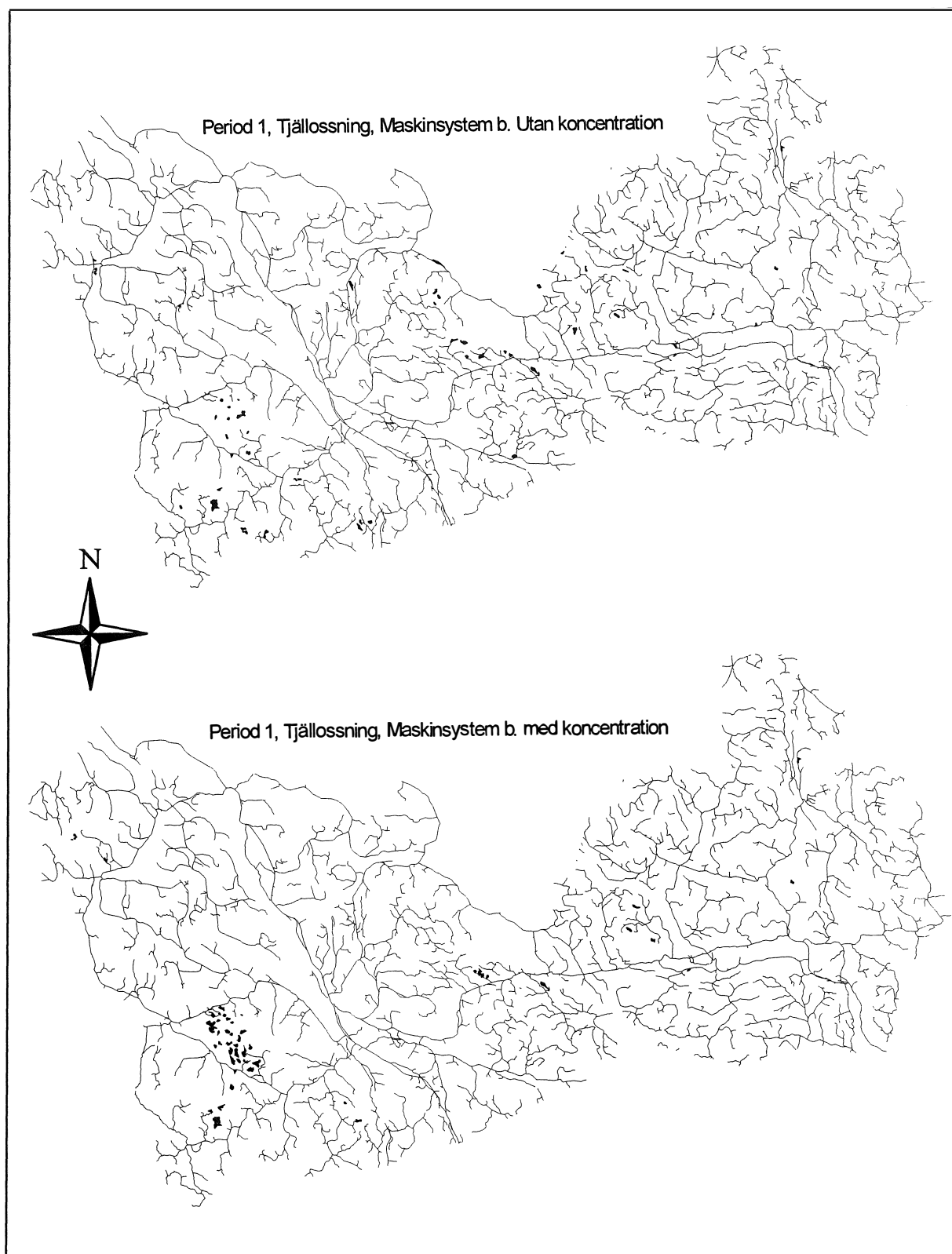
Siffrorna i tabell 15 styrker intrycket att IL-regression och IL-tillväxtprocent är de kriterier som korrelerar sämst med varandra. Samma tendens som går att utläsa ur tabell 11 och 12.

Vinsten av koncentrationskraven har mätts utifrån optimeringar då vägöppningskostnaden satts till 1 kr för samtliga vägområden. Övriga restriktioner har konstanthållts. Modellen väljer avdelningar helt baserat på inoptimalförlust eftersom vägöppningskostnaden blir försumbar. Vinsten i form av minskad inoptimalförlust varierar, beroende på kriterie, mellan 1,16-1,27 miljoner kr. Om flytt och väghållningskostnaden läggs till denna lösning blir den totala vägöppningskostnaden mellan 10,9-11,7 miljoner kr högre än tidigare. Resultatet blir mellan 9,6-10,4 miljoner kr sämre än då optimeringen omfattat hänsyn till koncentration.

Jämförelse på karta över resultatet med resp. utan koncentration, visar tydligt hur modellen skapar större avverkningstrakter då koncentrationsaspekten beaktas (figur 14. och 15)



Figur 14. Kartor över utvalda avdelningar för avverkningssystem b under vintersäsongen period 1.



Figur 15. Kartor över utvalda avdelningar för avverkningssystem b under tjällossningssäsongen period 1.

### 5.3.1 Utfall per avverkningsform

Fördelningen mellan gallringsformer skiljer sig inte åt mellan de olika urvalen. Bara äldreskogsgallring har olika inoptimalförluster i de olika optimeringarna och det är den som kan göra fördelningen mellan gallringsformerna olika.

Uttagen av ungskogs- och medelålders gallring ligger vid den undre gränsen för tillåtet uttag. Äldreskogsgallringen fyller på till den undre gränsen för tillåten gallringsandel. Detta innebär att ung- och medelåldersskogsgallring generellt har större värden på inoptimalförlust, om denna räknas per uttagen kubikmeter, än vad äldreskogsgallringen har. Kubikmetrar från äldreskogsgallringen är generellt dyrare än slutavverkningsvolymerna varför volymen slutavverkning konsekvent är den högsta tillåtna.

Tabell 16. *Utfall per avverkningsform efter optimering med olika prioriteringskriterie.*

Utfall i olika avverkningsformer: (m3f)	Period:	<b>PRIORITERINGSKRITERIE:</b>		
		IL-regression	IL-register	IL-tillväxtprocent
Ungskogsgallring	1	40000	40454	40000
Ungskogsgallring	2	40000	40000	40000
Ungskogsgallring	3	40000	40000	40000
Ungskogsgallring	4	40000	40000	40000
Ungskogsgallring	5	40000	40000	40000
Medelålders gallring	1	20000	20000	20000
Medelålders gallring	2	20000	20000	20000
Medelålders gallring	3	20000	20000	20000
Medelålders gallring	4	20000	20574	20000
Medelålders gallring	5	20000	20000	20000
Äldreskogsgallring	1	37980	37526	37980
Äldreskogsgallring	2	37980	37980	37980
Äldreskogsgallring	3	37980	37980	37980
Äldreskogsgallring	4	37980	37406	37980
Äldreskogsgallring	5	37980	37980	37980
Summa gallring	1	97980	97980	97980
Summa gallring	2	97980	97980	97980
Summa gallring	3	97980	97980	97980
Summa gallring	4	97980	97980	97980
Summa gallring	5	97980	97980	97980
Slutavverkning	1	328020	328020	328020
Slutavverkning	2	328020	328020	328020
Slutavverkning	3	328020	328020	328020
Slutavverkning	4	328020	328020	328020
Slutavverkning	5	328020	328020	328020

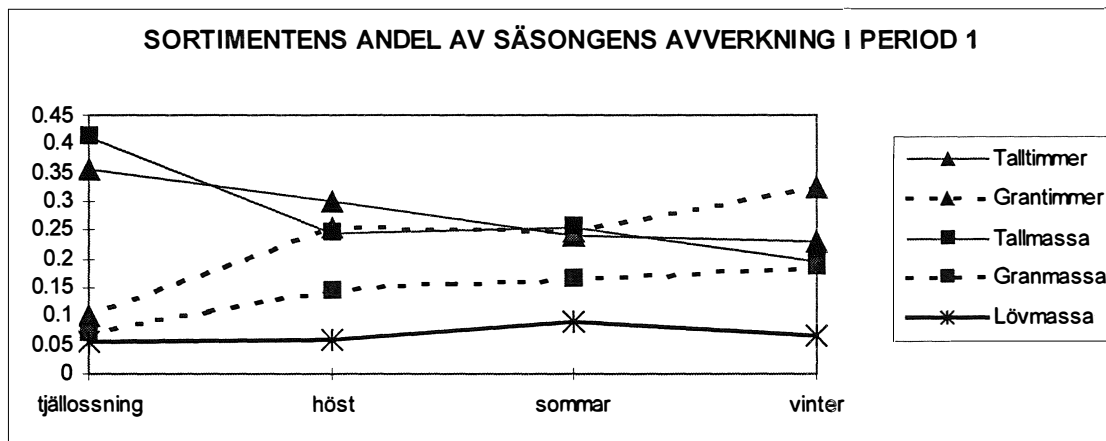
### 5.3.2 Utfall per sortiment

Utfallen per sortiment skiljer sig åt mellan de olika optimeringarna. Intressant är att uttaget av gran är betydligt större då slutavverkningsobjekten rangordnas med IL-regression än då de rangordnas med IL-tillväxtprocent. Det större uttaget av gran via IL-regression kompenseras av ett mindre uttag av tall. Urvalet via IL-register ligger mellan de båda andra urvalen; det ligger dock närmare urvalet via IL-tillväxtprocent.

Tabell 17 *Utfall per sortiment efter optimering med olika prioriteringskriterie.*

Sortimentsvis utfall: (m3f)	Period:	PRIORITERINGSKRITERIE:		
		IL- regression	IL-register	IL- tillväxtprocent
Talltimmer	1	112526	122017	125626
Talltimmer	2	116199	127308	129415
Talltimmer	3	109704	126679	130999
Talltimmer	4	100169	113749	132356
Talltimmer	5	99790	119844	129569
Grantimmer	1	109172	93987	83859
Grantimmer	2	108472	95024	85402
Grantimmer	3	121529	98324	95913
Grantimmer	4	125272	114744	93557
Grantimmer	5	130528	114851	102494
Tallmassa	1	107981	117712	124459
Tallmassa	2	107981	116781	130238
Tallmassa	3	93257	110454	114478
Tallmassa	4	88348	99842	114686
Tallmassa	5	88348	98842	107803
Granmassa	1	65979	59292	60154
Granmassa	2	64510	59074	52448
Granmassa	3	72574	58635	56337
Granmassa	4	76964	65454	57930
Granmassa	5	72087	64417	58722
Lövmassa	1	30342	32992	31901
Lövmassa	2	28838	27812	28498
Lövmassa	3	28936	31908	28273
Lövmassa	4	35247	32211	27472
Lövmassa	5	35247	28046	27413
<b>Totalt</b>	1	426000	426000	426000
<b>Totalt</b>	2	426000	426000	426000
<b>Totalt</b>	3	426000	426000	426000
<b>Totalt</b>	4	426000	426000	426000
<b>Totalt</b>	5	426000	426000	426000

Jämnhetskravet är formulerat över hela perioder. Per säsong tillåts således utfallet fördela sig fritt. Figur 16 visar ett exempel på hur det säsongsvisa utfallet har blivit. Exemplet avser period 1 från optimeringen med IL-regressionskriteriet men är karaktäristiskt för alla perioder, oavsett kriterie.



Figur 16. Sortimentvis utfall per säsong. Period 1 Optimering med IL-regressionskriterie.

Notera att tall är det dominerande trädslaget under säsong 1 och 2 dvs tjallossning och höst. Gran dominerar under säsong 4 (vinter).

#### 5.4 Utfall vid olika jämnhetskrav i sortimentsutfall

För att utvärdera kravet på jämnhet i sortimentsutfall har ytterligare optimeringar gjorts där detta krav skärpts med alla andra restriktioner lika. Jämförelsen är gjord med inoptimalförlustkriteriet IL-regression. Jämnhetskravet har satts till 5 respektive 3% att jämföra med grundalternativets 10%. Resultaten redovisas i tabell 16.

Tabell 18. Sammanfattning av resultat av optimering med olika jämnhetskrav på sortimentsutfallet.

Jämnhetskrav	Objektfunktionens värde	Inoptimalförlust i slutavverkning	Total vägkostnad
10 %	21'927'990 kr	12'311'374 kr	4'582'260 kr
5 %	22'021'650 kr	12'334'221 kr	4'652'878 kr
3 %	21'994'650 kr	12'350'899 kr	4'602'558 kr

Notera att resultatet bara försämrats marginellt vid ökat jämnhetskrav, i fallet med 3 procentskravet har det till och med blivit bättre än i 5 procentsalternativet. Anledningen är sannolikt att kravet inte haft så stor betydelse och att optimeringsprogrammet funnit en lösning som ligger närmare sant optimum i 3 procentsalternativet. Lösningarna är garanterade att ligga inom 3 % från sant optimum i samtliga fall.



## 6 Diskussion

### 6.1 Rangordningskriterierna

Jämförelsen mellan rangordningskriterierna har blivit något haltande eftersom ett så litet facitmaterial funnits tillgängligt. De för slutavverkning utvalda avdelningarna vid urval utan flödesrestriktioner eller geografisk hänsyn skiljer sig dock avsevärt åt beroende på vilket prioriteringskriterie som valts. Valet av kriterie kommer därför att spela en viktig roll för sammansättningen av utvalda avdelningar. Denna studie tyder inte på att något kriterie är bättre korrelerat med den "sanna" inoptimalförlusten som beräknats i IPAK än övriga. Korrelationen mellan IL-regression och "sann" inoptimalförlust är dock inte riktigt jämförbar eftersom regressionsfunktionen är grundad på jämförelsematerialet. Att använda kvadratiske variabler för t.ex. ålder som gjort i detta fall (se kap 4.1.1.1) har erfarenhetsmässigt visat sig vara riskabelt (Larsson, per. medd.). Risker är stora för överanpassning av funktionen samtidigt som stora tillfälliga fel i registerdata ger upphov till extrema IL-skattningar eller stora fel i dessa. Efter urval i optimeringsmodellen minskar skillnaderna i urvalen, detta som följd av den minskning av handlingsutrymme som begränsningarna innebär. De är dock fortfarande betydande. Ytterligare skärpta krav på t.ex. jämnhet i leveranser, volymfördelning mellan avverkningssystem eller fördelning mellan avverkningsformer, kan leda till att betydelsen av val av kriterie minskar mer. Tills vidare anses dock valet av kriterie ha avsevärd effekt på urvalsresultatet.

Observera att använda funktioner för framräkning av kriterierna bara är exempel på respektive metod. Ingen lokal anpassning har skett av till exempel utbytesberäkningar. Anpassning av, eller val av andra funktioner, kan leda till ett annat resultat.

### 6.2 Ekonomiskt utfall enligt modellen

Eftersom optimeringarna är gjorda på inoptimalförluster baserade på olika kriterier går det ekonomiska resultatet inte att jämföras okritiskt. De olika kriterierna är i sig uppskattningar av den sanna inoptimalförlusten. Modellerna för att beräkna de olika kriterierna resulterar i olika genomsnittliga inoptimalförluster och olika spridning kring dem.

Storleken på inoptimalförlusterna påverkar främst värdet på objektfunktionen medan hur "tätt" inoptimalförlusterna är fördelade kommer att spela en stor roll för hur koncentrationsaspekten värderas. Vid stor spridning mellan värden på inoptimalförluster kommer det att löna sig mer att verkligen avverka de avdelningar som är högst prioriterade, till priset av ett större antal flyttar. Det omvända gäller om skillnaderna i inoptimalförlust är liten mellan många avdelningar. I lösningarna framgår att IL-regressionskriteriet är det tätast fördelade kriteriet dvs det kriterium som kunnat avverkas med den minsta ökningen i inoptimalförlust (jämfört med avverkningsurval utan restriktioner). Av detta följer naturligt att den totala vägöppningskostnaden är lägst i detta fall. IL-registerkriteriet är, omvänt, det kriterie för vilket inoptimalförlusten i lösningen ökat mest vid koncentration. Den totala vägöppningskostnaden är följaktligen störst.

Värt att notera är hur små skillnaderna i ökade inoptimalförluster och vägöppningskostnad är mellan lösningarna baserade på de olika kriterierna. Detta tyder på att kriterierna trots allt är relativt lika fördelade vilket också går att se i figurerna 6-8.

### 6.3 Koncentration

Ett viktigt resultat av studien är relationen mellan inoptimalförluster och koncentrationsvinster. Entydiga resultat visar att koncentrationsvinsterna i form av lägre flytt- och väghållningskostnader är upp till 10 gånger så stora som förlusterna i form av ökade inoptimalförluster.

Genom att skapa vägområden inom vilka maskinflytt anses gratis förenklas koncentrationsproblematiken, jämfört t.ex. med att räkna och minimera flyttsträckor mellan varje avverkning. En svaghet är att avdelningar nära varandra kan hamna på olika sidor om en gräns och koncentrationsmöjligheter förbises i lösningen. En fördel är att avverkningsplanen inte är upphängd på en bestämd sekvens av avverkningar. Den blir därför mindre känslig för omkastningar i avverkningsordning som kan uppstå p.g.a. väderförhållanden eller förändrade utfallskrav. En lösning där åtgärdsordningen är flexibel är också mer lämplig som utgångspunkt i SCA:s traktplanering och för framtida orderstyrd avverkning.

Den schablonmässiga tilldelningen av vägöppningskostnad kan kritiseras framförallt då den inte tar hänsyn till det med årstiderna varierande vägsplitaget. Precisering skulle kräva en mer noggrann utformning av vägområdena och eventuellt en individuell bedömning av vägsplitaget för varje område. Förutom de direkta vinsterna av minskad maskinflytt medför koncentrationen vinster i inventerings- och skogsvårdssammanhang. Storleken på dessa vinster har inte undersökts i denna studie men de torde vara betydande.

### 6.4 Jämnhetskrav

De periodvisa utfallen av respektive sortiment skall enligt grundmodellen ligga inom  $\pm 10\%$  från genomsnittligt utfall för sortimentet över alla perioder. Nivån på utfallet har däremot lämnats fritt. Detta har medfört att gran är det trädslag som avverkas i störst utsträckning då prioritering görs med IL-regression medan tall dominerar avverkningarna i fallen IL-Register och IL-tillväxtprocent. I AVB:n beräknas tall vara det trädslag som skall dominera avverkningarna. Regressionsfunktionerna verkar således ha snedvridit inoptimalförlusterna mellan trädslagen så att gran prioriterats för högt.

Jämnhetskravet tycks inte vara en särskilt begränsande faktor då det är ställt över hela perioder (2 år). Optimeringarna med 5 resp 3%:s jämnhetskrav har inte markant ökat värdet på objektfunktionen. Jämnhetskravet borde sannolikt ges en striktare formulering för att i praktiken svara mot SCA:s krav. Möjligen borde man ställa krav på utfallet per avverkningssäsong. Dessutom bör utfallskravet nivåläggas mot den strategiska planen (Larsson Pers. medd.). Då sortimentsutfallet per avverkningsäsong studeras visar det sig att sortimenten i stor utsträckning faller ut vid olika avverkningssäsonger. Tall dominerar under höst och tjällossning då god bärighet krävs medan gran i större utsträckning återfinns på marker med sämre bärighet och således utfaller under sommar och vinter (se figur 16). En total jämnhet går inte att uppnå med de begränsningar som införts i modellen. En viss manipulering är dock möjlig på kort sikt men sannolikt inte över någon längre period.

### 6.5 Problemformulering och lösningstid

Problemets storlek gör modellen extremt känsligt för problemformuleringen och för indatas utseende. En liten variation i t.ex. inoptimalförluster gör problemet svårare att lösa än när variationen är stor. Införandet av heltalsvariabler (vägöppningskostnad) medför ett avsevärt försvårande av beräkningsarbetet jämfört med ett problem med enbart kontinuerliga variabler. Då stor del av arbetet åtgått till att formulera problemet så att en lösning kunnat genereras, redovisas nedan två principiellt olika formuleringar.

I den första formuleringen har varje vägöppning (per maskinsystem (A), period (T) och avverkningssäsong (S)) kontrollerats av ett villkor i LP-matrisen. Denna formulering visas principiellt i figur 17.

		Avverkningsaktivitet (avd-sys-per-säs) 1 A T S	Avverkningsaktivitet (avd-sys-per-säs) 2 A T S	Vägöppning (väg-sys-per-säs) 1 A T S
Objektfunktion		Inoptimalförlust kr	Inoptimalförlust kr	Vägöppningskost. kr
Vägvillkor 1ATS	$0 \geq$	1	1	-1000

Figur 17. *Principiell uppbyggnad av koppling mellan avverkning och vägöppning i LP-matris, formuleringsalternativ 1.*

Om en avdelning avverkas kommer aktuell avverkningsaktivitet att anta värdet 1. Aktiviteten blir då "aktiv" med faktorn 1 i alla villkorsrader där den förekommer. I objektfunktionsraden kommer inoptimalförlusten \*1 att läggas till och vägvillkor 1ATS-raden kommer anta värdet 1\*1. För att uppfylla vägvillkor 1ATS kommer vägöppningsaktivitet 1ATS tvingas anta värdet 1. (vägöppningsaktiviteten 1ATS är en heltalsvariabel som bara kan anta värdena 0 eller 1). Vägvillkorsraden kommer då att ha värdet -999. Vägöppningskostnaden genereras samtidigt i objektfunktionsraden. Om flera avdelningar påverkar samma vägöppningsvariabel kommer villkoret fortfarande att vara sant utan att kostnaden för vägöppning ökar. Talet -1000 i villkorsraden är ett stort negativt tal, kravet är att det är mindre än -N där N är det största antalet avverkningsaktiviteter som kan aktivera vägöppningsaktiviteten.

I det andra formuleringsalternativet kontrolleras en viss vägöppning av flera villkor, ett för varje avverkningsaktivitet som kan påverka vägöppningsaktiviteten. Formuleringen visas principiellt i figur 18.

		Avverkningsaktivitet (avd-sys-per-säs) 1 A T S	Avverkningsaktivitet (avd-sys-per-säs) 2 A T S	Vägöppning (väg-sys-per-säs) 1 A T S
Objektfunktion		inoptimalförlust kr	Inoptimalförlust kr	Vägöppningskost. kr
Vägvillkor 1ATSbestånd1	$0 \geq$	1		-1
Vägvillkor 1ATSbestånd2	$0 \geq$		1	-1

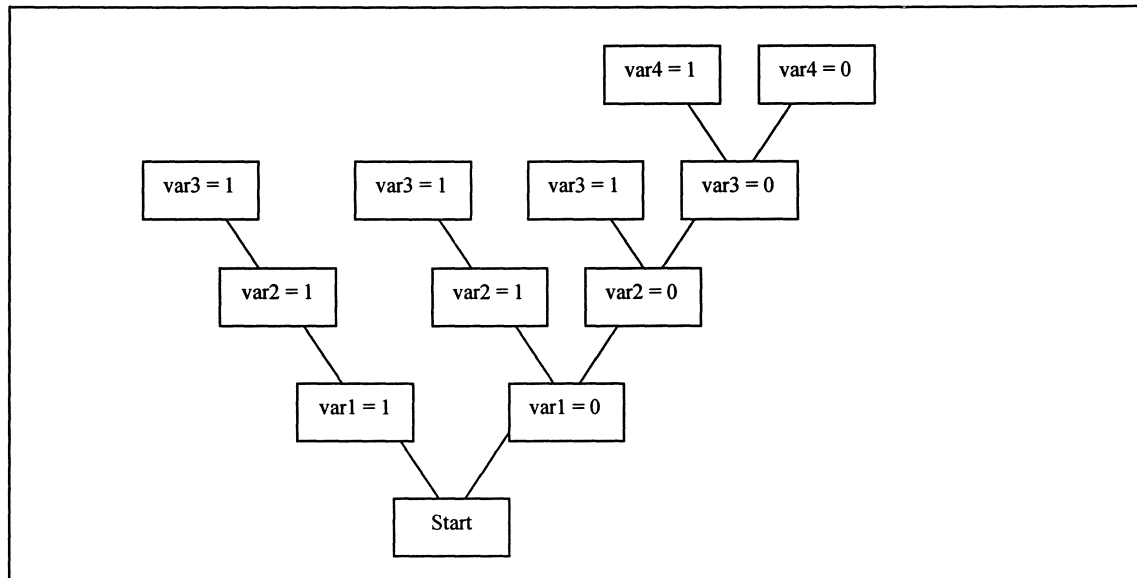
Figur 18. *Principiell uppbyggnad av koppling mellan avverkning och vägöppning i LP-matris, formuleringsalternativ 2.*

Resultatet blir detsamma som i föregående alternativ nämligen att vägöppningskostnaden genereras i sin helhet för den första avverkningsaktivitet som aktiverar vägöppningsaktiviteten. Ytterligare avverkningsaktiviteter kopplade till vägöppningsaktiviteten ökar inte kostnaden.

Skillnaden i formulering påverkar möjligheten att finna en optimal lösning. Den kontinuerliga lösningen för ett LP problem kan beräknas med ekvationer medan en heltalig lösning hittas genom att variablerna ges värden i alla tillåtna kombinationer. Funktionens värde jämförs sedan för att hitta den bästa lösningen. Denna metod är extremt tidsödande då antalet möjliga kombinationer, baserat enbart på antalet heltalsvariabler (n) i problemet, är  $2^n$ .

Optimeringsprogrammet CPLEXs lösningsalgoritmer bygger på att problemets kontinuerliga motsvarighet löses i ett första steg (vägöppningsaktiviteterna tillåts anta alla värden mellan 1 och 0). Med utgångspunkt i denna första lösning söker programmet iterativt efter en heltalig lösning med hjälp av så kallad branch-and-bound

teknik. Kortfattat innebär denna teknik att problemet ställs upp i en trädstruktur där heltalsvariablerna är noder (figur 18). Heltalsvariablerna fixeras till 1 eller 0 efter ett bestämt mönster, med start långt ner i "sökträdet". Med dessa variabler låsta, löses problemets kontinuerliga motsvarighet. Om denna kontinuerliga lösning är sämre än bästa tidigare funna heltalslösning måste även alla heltaliga lösningar längs sökträdets aktuella gren, vara sämre (heltalskravet är en restriktion). Programmet kan då utesluta dessa. Är den kontinuerliga lösningen bättre fixeras ytterligare variabler till heltaliga värden och processen upprepas.



Figur 19. Principiell skiss över branch-and-bound teknikens "sökträd".

I fallet då problemet formulerats som i det första alternativet, kommer de kontinuerliga lösningarna ofta vara betydligt bättre än de heltaliga. Orsaken är att vägöppningsaktiviteten i denna formulering bara antar värdet 0.001 för varje avverkningsaktivitet som genereras då problemet löses kontinuerligt. Vägöppningen kommer i detta fall, i målfunktionen, bara kosta 1 promille av den egentliga kostnaden. Målfunktionen kommer i de kontinuerliga lösningarna således att belastas med en mycket mindre vägkostnad än vad som är fallet i de heltaliga lösningarna. Programmet kommer inte att enkelt kunna utesluta dessa lösningar, baserat på kontinuerliga lösningar, utan måste fortsätta att göra beräkningar längre ut i "sökträdet".

Om problemet formuleras som i alternativ två, kommer de kontinuerliga lösningarna att bli mer lika de heltaliga, detta p.g.a. att om en avdelning avverkas i sin helhet (vilket huvudsakligen sker), kommer motsvarande vägöppningskostnad genereras i sin helhet även i den kontinuerliga lösningen. Denna likhet gör att programmet kan utesluta ett större antal av de möjliga heltalslösningarna på grundval av de kontinuerliga beräkningarna, och därmed snabbare finna den optimala heltalslösningen.

Lösningstiden på en PC (266 MHz Pentium II, 160 MB RAM) har varierat mellan 10-12 timmar när problemet formulerats enligt alternativ två. Ofta kan en bra lösning hittas relativt snabbt men det kan ta lång tid för programmet att bevisa att lösningen är optimal. Om man nöjer sig med att veta att lösningen garanterat är inom ett visst relativt avstånd (%), från den sanna optimala lösningen, kan avsevärd tid sparas (Cplex manual). Under lösningsarbetet har därför toleransen, avseende garanterad optimalitet, satts till 3%.

## 6.6 Sammanfattning av förslag till utveckling av optimeringsmodellen

Resultaten från optimeringsmodellen är svåra att värdera eftersom inget facit finns tillgängligt. De visar ändå att modellen klarar att fördela avverkningar i tid och rum på de sätt som avsetts. Kartor över säsongsvisa avverkningsavdelningar visar tydligt att koncentrationsaspekten givits hög prioritet i modellen. Jämförelse av resultat då koncentration eftersträvats och urval utan koncentrationskrav, visar att stora vinster kan göras på flytt och vägsidan på bekostnad av en relativt liten ökning av åtgärdsvisa inoptimalförluster.

När modellen skapats har en mängd antaganden och generaliseringar gjorts. De flesta har gjorts i samråd med SCA:s personal och professor Ljusk-Ola Eriksson vid institutionen för resurshushållning och geomatik. Trots detta uppvisar flera av de ingående villkoren och antagandena brister som påverkar urvalet på sätt som inte förutsetts. Vidare utveckling av modellformuleringen, parallellt med en genomgång av ingångsdata, kan förbättra modellen och göra den praktiskt användbar.

Nedan följer några förslag på utvecklingsmöjligheter av befintliga funktioner mot bakgrund av tidigare diskuterade svagheter

- 1) Anpassa utbytesberäkningarna så att de överensstämmer med motsvarande beräkningar i den strategiska planeringen.
- 2) Jämnhetskravet i utfall bör specificeras sortimentsvis per avverkningssäsong för att bättre spegla arbetsområdets leveranskrav.
- 3) Indelningen i vägområden görs lokalt av fältpersonal, avdelningarna klassas efter sämsta bärighet som berör terrängtransport.
- 4) Kostnaden för vägunderhåll, då områdena används, bör undersökas och specificeras per säsong
- 5) Periodlängden bör kortas till 1 år.
- 6) Även avverkningsaktiviteter borde formuleras som heltalsvariabler

Förslag 2, 5 och 6 kommer att göra modellen större och därmed försvåra lösningsarbetet. På några års sikt kommer detta, med undantag av förslag 6, sannolikt inte att vara ett problem. Med tillgänglig dator- och programvara har denna problemutvidgning inte bedömts vara möjlig.

Parallellt med föreslagna förbättringar av den befintliga modellen bör en diskussion om den övergripande formuleringen ske. Modellutvecklingen har skett för att passa in som långsichtsplanering i SCA:s planeringsschema. Planeringsperioden är därför 10 år. Den långa planeringsperioden syftar till att försäkra sig om att inte "plocka russinen ur kakan", vilket kan vara en risk med en alltför kort planeringsperiod. Att 10 år skulle vara en optimal planeringsperiod finns det dock inget stöd för. En undersökning av lämplig längd på planeringsperioden skulle därför vara av stort värde. Om en kortare period skulle vara möjlig med bibehållen "långsiktighet" skulle detaljupplösningen i modellen kunna ökas.

Vägområdena är det i modellen enda rumsliga elementet. Införandet av vägområden syftar enbart till att minimera kostnader. Av flera orsaker kan det vara nödvändigt att införa andra geografiska styrningar. En kan vara att begränsa sammanhängande hyggesareal och undvika hyggesupptagningar i redan hårt huggna områden. Avverkning mot angränsande hyggen kan vara negativt ur ett flertal aspekter, bl.a. risken för insektsangrepp och stormfällning. Även ur andra aspekter kan det vara intressant att ha kontroll över åtgärdsobjektens rumsliga fördelning. För att skapa möjlighet till en sådan geografisk kontroll krävs sannolikt en omfattande omstrukturering av problemet. Inte osannolikt innebär detta att planeringen får göras i flera steg.

## 7 Referenser

### Litteratur

Andersson, S. 1964. Om kostnadsberäkningar i skogsbrukets kalkyler rörande val av produktionsprogram. Skogshögskolan, Institutionen för skogsteknik. Rapport nr 24.

Andersson, S. 1971. Modeller för långsiktiga driftsplaner i skogsbruket. Skogsarbeten, meddelande nr 7.

Anon. 1985. Gallringsmallar norra Sverige. Skogsstyrelsen, Jönköping.

Björnstad, O – Risvand, J. 1967. Koordinert avvirkning og investerings-planlegging ved hjelp av dynamisk programmering. Norges Landbrukshøgskole, Vollebekk. Stencil.

Brun- Madsen, P. 1964. En Metode til beregning af et optimalt hugstprogram. Den kgl. Veterinaer og Landbohøjskoles Skovbrugsafdeling, København, stencil.

Clutter, J L. Bamping, J H. 1965. Computer simulation of an Industrial Forestry Enterprise. Proceedings Soc. Amer. Foresters.

Jacobsson, J. 1986. Optimization and data requirements – A forest management planning problem. SLU, Avd för skogsuppskattning och skogsindelning.

Jonsson, B., Jacobsson, J., Kallur, H. 1993. The forest management planning package. Theory and application, Studia forestalia suecia, No. 189.

Larsson, M. 1994. Betydelsen av kvalitet i skogliga avdelningsdata för skattningar av volymtillväxt och inoptimalförlust. Sveriges Lantbruksuniversitet. Inst. f. Biometri och skogsindelning. Avdelningen för skogsuppskattning och skogsindelning. Rapport 26. Umeå.

Lindgren, O. 1998. Tillväxtfunktioner (opubl.)

Naesset, E. 1997. A Spatial Decision Support System for Long-term Forest Management Planning by means of Linear Programming and a Geographical Information System., Scaninavian Journal of forestry, 12: 77- 88, 1997.

Ollas, R. 1980. Nya utbytesfunktioner för träd och bestånd. Skogsarbeten, ekonomi. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten.

Ståhl, G., Wilhelmsson, E., Lämås, T. 1994. Planering av skogsbruk- "Den Röda tråden" till grundkurs i skogsindelning. Sverige lantbruksuniversitet, Institutionen för biometri och skogsindelning. Umeå:

Trailerprislista. Leifs Maskinfrakt AB. 1997.

Virkesprislistor. SCA Forest and Timber AB, Virke Syd, aug 1997.

**Personliga meddelanden:**

Ljusk Ola Eriksson SLU, professor, Inst. f. skoglig resurshushållning och geomatik.

Ulf Källman SCA Forest and Timber.

Magnus Larsson SCA Forest and Timber.

LINJÄRPROGRAMERINGSMATRIS

		KOL	TOT_TT1	TOT_TT2	.....	TOT_LM5		GALLTOT1	GALLTOT2	.....	GALLTOT5	Heltalsvar. våg1_11a	Heltalsvar. våg1_11b	Heltalsvar. våg1_12a	.... våg300_12b	VOLBAR11	VOLBAR12	....	VOLBAR45		VOLTOT1	VOLTOT2	....	VOLTOT5		bestnrs1	bestnrs2	.....	bestnrg5	
RHS	RADER																													
	IL											x	x	x	x												x	x		x
0=	VB11																-1										x			
0=	VB12																	-1									X			
	.....																													
0=	VB45																			-1										X
0=	TT1			-1																							X			
0=	TT2					-1																						X		
	.....																													
0=	LM5																								-1					X
0>=	JUT11			-0.9		0.2																								
0<=	JOT11			-0.7		0.2																								
0>=	JUT12			0.2		0.2																								
	.....																													
0<=	JOLM5																								-0.7					
426000<=	TOTVOL1																					1								
	.....																													
426000<=	TOTVOL5																								1					
0=	TOT1																					-1					X			
0=	TOT2																						-1					X		
	.....																													
0=	TOT5																								-1					X
0<=	INTUBA11																1					-0.9								
0>=	INTOBA11																1					-0.17								
	.....																													
0>=	INTOBA45																			1						-0.37				
0=	GALL1																													
0=	GALL2																													
	.....																													
0=	GALL5																													
0<=	INTUGAL1																													
0>=	INTOGAL1																													
	.....																													
0>=	INTOGAL5																													
	.....																													
1>=	bestnrAK																													
	.....																													
0>=	bestnrvag11z																													
0>=	bestnrvag11a																													
0>=	bestnrvag12z																													
0>=	bestnrvag12a....																													
40000<=	Unggall1																													
40000<=	Unggall2																													
	.....																													
40000<=	Unggall5																													
20000<=	Medgall1																													
20000<=	Medgall2																													
	....																													
20000<=	Medgall5																													
65000>=	Aldgall1																													
65000>=	Aldgall2																													
	.....																													
65000>=	Aldgall5																													
500 <=	Vola11																													
55000 <=	Volb11																													
	....																													
120000 <=	Volb45																													



## KODER TILL MATRIS

### KOLUMNER (Aktiviteter)

TOT_TTx	HÅLLER TOTAL TALLTIMMERVOLYM AVVERKAD UNDER PERIOD x.
TOT_GTx TOT_TMx TOT_GMx TOT_LMx	SOM OVAN, ÖVRIGA SORTIMENT.
GALLTOTx	AKTIVITET SOM HÅLLER TOTALVOLYM UR GALLRING PER PERIOD x.
VÄGvagnr_yxS	AKTIVITETER SOM REPRESENTERAR ALLA TÄNKBARA VÄGÖPPNINGAR (EX ÖPPNING AV VÄG 1 UNDER SÄSONG y PERIOD x FÖR AVVERKNINGSYSTEM S)
VOLBARyx	AKTIVITET SOM HÅLLER TOTALA VOLYMEN I PERIOD x OCH SÄSONG y.
bestnrFx	AKTIVITET SOM HÅLLER BESTÅNDSDATA OCH UTFALL AV AVVERKNING (avverkningsform F) UNDER PERIOD x.
VOLTOTx	AKTIVITET SOM HÅLLER TOTALVOLYM PER PERIOD

### RADER (Begränsningar)

VByx	AKTIVITETEN <i>VOLBARyx</i> SÄTTES LIKA MED SUMMAN AV UTTAGEN FRÅN AVDELNINGAR UNDER SÄSONG y PERIOD x
TTx	VOLYM TALLTIMMER UNDER PERIOD x SUMMERAS I AKT. TOT_TTx OVAN GÄLLER ÄVEN FÖR ÖVRIGS SORTIMENT: GRANTIMMER, TALLMASSA, GRANMASSA, LÖVMASSA.
JUTTx	UNDRE JÄMNHETSKRAV PÅ TALLTIMMERVOLYMERNA FRÅN PERIOD x.
JOTTx	ÖVRE JÄMNHETSKRAV PÅ TALLTIMMER VOLYMER FRÅN PERIOD x. OVAN GÄLLER ÄVEN FÖR DE ÖVRIGA SORTIMENTEN
TOTVOLx	SÄTTER ETT SPECIFICERAT MINIMIKRAV PÅ UTTAGEN TOTALVOLYM (AKT. <i>VOLTOTx</i> ) PER PERIOD.
bestnrAK	SÄTTER MAXIMALT ANTAL AVVERKNINGAR PER BESTÅND TILL 1. SUMMAN AV AKT. <i>BestnrF1</i> - <i>bestnrF5</i> =< 1.
TOTx	SÄTTER TOTALA VOLYMEN PER PERIOD (AKT. <i>VOLTOTx</i> ) = SUMMAN AV ALLA UTTAG UNDER PERIODEN.

INTUBAy <sub>x</sub>	UNDRE INTERVALL FÖR ANDELEN AV TOTAL VOLYM UNDER PERIOD x (AKT. <i>VOLTOT<sub>x</sub></i> ) SOM HUGGS UNDER SÄSONG y.
INTOBAy <sub>x</sub>	ÖVRE INTERVALL FÖR ANDELEN AV TOTAL VOLYM UNDER PERIOD x (AKT. <i>VOLTOT<sub>x</sub></i> ) SOM SOM HUGGS UNDER SÄSONG y.
GALL <sub>x</sub>	SÄTTER AKT. <i>GALLTOT<sub>x</sub></i> = SUMMAN AV ALL GALLRING I PERIOD x
INTUGAL <sub>x</sub>	UNDRE INTERVALL FÖR AKT. <i>GALLTOT<sub>x</sub></i> SÄTTTS TILL 23% AV TOTAL AVVERKNING PERIOD x (AKT. <i>VOLTOT<sub>x</sub></i> ).
INTOGAL <sub>x</sub>	ÖVRE INTERVALL FÖR AKT. <i>GALLTOT<sub>x</sub></i> SÄTTTS TILL 27% AV TOTAL AVVERKNING PERIOD x (AKT. <i>VOLTOT<sub>x</sub></i> ).
bestnrvagy <sub>x</sub> K	AKTIVERAR AKTUELL VÄGÖPPNINGSAKTIVITET (VÄGvägnr_y <sub>x</sub> S) VID AVVERKNING I AVDELNING (AKT. bestnrF <sub>x</sub> ) KOPPLAD TILL VÄGEN.
UNGGALL <sub>x</sub>	ANGER MININIVÅ PÅ UNGSKOGSGALLRING (40000 m <sup>3</sup> sk) PER PERIOD
MEDGALL <sub>x</sub>	ANGER MININIVÅ PÅ GALLRING I MEDELÅLDERS SKOG (20000 m <sup>3</sup> sk) PER PERIOD.
ALDGALL <sub>x</sub>	ANGER MAXNIVÅ PÅ GALLRING I ÄLDRE SKOG (65000 m <sup>3</sup> sk) PER PERIOD.
VOLSy <sub>x</sub>	ANGER MININIVÅ PÅ AVVERKNING PER AVVERKNINGSSYSTEM S FÖR RESPEKTIVE SÄSONG y OCH PERIOD x.

## INDEX

y	DE OLIKA SÄSONGERNA 1-4. 1 = Tjällossning 2 = Höst 3 = Sommar 4 = Vinter
x	DE OLIKA PERIODERNA 1-5.
K	AVVERKNINGSFORM UPPDELAD PER AVVERKNINGSSYSTEM z = Slutavverkning system a å = Gallring system a ä = Slutavverkning system b ö = Gallring system b
F	AVVERKNINGSFORM g = Gallring s = Slutavverkning
S	AVVERKNINGSSYSTEM a = Litet b = Stort

Serien Arbetsrapporter utges i första hand för institutionens eget behov av viss dokumentation. Rapporterna är indelade i följande grupper: Riksskogstaxeringen, Planering och inventering, Biometri, Fjärranalys, Kompendier och undervisningsmaterial, Examensarbeten samt Internationellt. Författarna svarar själva för rapporternas vetenskapliga innehåll.

---

### **Riksskogstaxeringen:**

- 1995 1 Kempe, G. Hjälpmedel för bestämning av slutenhet i plant- och ungskog. ISRN SLU-SRG-AR--1--SE
- 2 Riksskogstaxeringen och Ståndortskarteringen vid regional miljöövervakning. - metoder för att förbättra upplösningen vid inventering i skogliga avrinningsområden. ISRN SLU-SRG-AR--2--SE.
- 1997 23 Lundström, A., Nilsson, P. & Ståhl, G. Certifieringens konsekvenser för möjliga uttag av industri- och energived. - En pilotstudie. ISRN SLU-SRG-AR--23--SE.
- 24 Fridman, J. & Walheim, M. Död ved i Sverige. - Statistik från Riksskogstaxeringen. ISRN SLU-SRG-AR--24--SE.
- 1998 30 Fridman, J., Kihlblom, D. & Söderberg, U. Förslag till miljöindexsystem för naturtypen skog. ISRN SLU-SRG-AR--30--SE.
- 34 Löfgren, P. Skogsmark, samt träd- och buskmark inom fjällområdet. En skattning av arealer enligt internationella ägoslagsdefinitioner. ISRN SLU-SRG-AR--34--SE.
- 37 Odell, G. & Ståhl, G. Vegetationsförändringar i svensk skogsmark mellan 1980- och 90-talet. -En studie grundad på Ståndortskarteringen. ISRN SLU-SRG-AR--37--SE.
- 38 Lind, T. Quantifying the area of edge zones in Swedish forest to assess the impact of nature conservation on timber yields. ISRN SLU-SRG-AR--38--SE.

### **Planering och inventering:**

- 1995 3 Holmgren, P. & Thuresson, T. Skoglig planering på amerikanska västkusten - intryck från en studieresa till Oregon, Washington och British Columbia 1-14 augusti 1995. ISRN SLU-SRG-AR--3--SE.
- 4 Ståhl, G. The Transect Relascope - An Instrument for the Quantification of Coarse Woody Debris. ISRN SLU-SRG-AR--4--SE.
- 1996 15 van Kerkvoorde, M. A sequential approach in mathematical programming to include spatial aspects of biodiversity in long range forest management planning. ISRN SLU-SRG-AR--15--SE.
- 1997 18 Christoffersson, P & Jonsson, P. Avdelningsfri inventering - tillvägagångssätt och tidsåtgång. ISRN SLU-SRG-AR--18--SE.

- 19 Ståhl, G., Ringvall, A. & Lämås, T. Guided transect sampling - An outline of the principle. ISRN SLU-SRG-AR--19--SE.
- 25 Lämås, T. & Ståhl, G. Skattning av tillstånd och förändringar genom inventerings simulering - En handledning till programpaketet "NVSIM".  
ISRN SLU-SRG-AR--25--SE
- 26 Lämås, T. & Ståhl, G. Om dektektering av förändringar av populationer i begränsade områden. ISRN SLU-SRG-AR--26--SE

#### **Biometri:**

- 1997 22 Ali, Abdul Aziz. Describing Tree Size Diversity. ISRN SLU-SRG-AR--22--SE.

#### **Fjärranalys:**

- 1997 28. Hagner, O. Satellitfjärranalys för skogsföretag. ISRN SLU-SRG-AR--28--SE.
- 29. Hagner, O. Textur i flygbilder för skattning av beståndsegenskaper.  
ISRN SLU-SRG-AR--29--SE.
- 1998 32. Dahlberg, U., Bergstedt, J. & Pettersson, A. Fältinstruktion för och erfarenheter från vegetationsinventering i Abisko, sommaren 1997. ISRN SLU-SRG-AR--32--SE.
- 43 Wallerman, J. Brattåkerinventeringen. ISRN SLU-SRG-AR--43--SE.

#### **Kompendier och undervisningsmaterial:**

- 1996 14 Holm, S. & Thuresson, T. samt jägm.studenter kurs 92/96. En analys av skogstillståndet samt några alternativa avverkningsberäkningar för en del av Östads säteri.  
ISRN SLU-SRG-AR--14--SE.
- 21 Holm, S. & Thuresson, T. samt jägm.studenter kurs 93/97. En analys av skogstillståndet samt några alternativa avverkningsberäkningar för en stor del av Östads säteri. ISRN SLU-SRG-AR--21--SE.
- 1998 42 Holm, S. & Lämås, T. samt jägm.studenter kurs 93/97. An analysis of the state of the forest and of some management alternatives for the Östad estate.  
ISRN SLU-SRG-AR--42--SE.

#### **Examensarbeten:**

- 1995 5 Törnquist, K. Ekologisk landskapsplanering i svenskt skogsbruk - hur började det?. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning.  
ISRN SLU-SRG-AR--5--SE.
- 1996 6 Persson, S. & Segner, U. Aspekter kring datakvaliténs betydelse för den kortsiktiga planeringen. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning.  
ISRN SLU-SRG-AR--6--SE.

- 7 Henriksson, L. The thinning quotient - a relevant description of a thinning? Gallringskvot - en tillförlitlig beskrivning av en gallring? Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--7--SE.
- 8 Ranvald, C. Sortimentinriktad avverkning. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--8--SE.
- 9 Olofsson, C. Mångbruk i ett landskapsperspektiv - En fallstudie på MoDo Skog AB, Örnsköldsviks förvaltning. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--9--SE.
- 10 Andersson, H. Taper curve functions and quality estimation for Common Oak (Quercus Robur L.) in Sweden. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--10--SE.
- 11 Djurberg, H. Den skogliga informationens roll i ett kundanpassat virkesflöde. - En bakgrundsstudie samt simulering av inventeringsmetoders inverkan på noggrannhet i leveransprognoser till sågverk. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--11--SE.
- 12 Bredberg, J. Skattning av ålder och andra beståndsvariabler - en fallstudie baserad på MoDo:s indelningsrutiner. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--12--SE.
- 13 Gunnarsson, F. On the potential of Kriging for forest management planning. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--13--SE.
- 16 Tormalm, K. Implementering av FSC-certifiering av mindre enskilda markägares skogsbruk. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--16--SE.
- 1997 17 Engberg, M. Naturvärden i skog lämnad vid slutavverkning. - En inventering av upp till 35 år gamla föryngringsytor på Sundsvalls arbetsomsåde, SCA. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN-SRG-AR--17--SE.
- 20 Cedervind, J. GPS under krontak i skog. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--20--SE.
- 27 Karlsson, A. En studie av tre inventeringsmetoder i slutavverkningsbestånd. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--27--SE.
- 1998 31 Bendz, J. SÖDRAs gröna skogsbruksplaner. En uppföljning relaterad till SÖDRAs miljömål, FSC's kriterier och svensk skogspolitik. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--31--SE.
- 33 Jonsson, Ö. Trädskikt och ståndortsförhållanden i strandskog. - En studie av tre bäckar i Västerbotten. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--33--SE.
- 35 Claesson, S. Thinning response functions for single trees of Common oak (Quercus Robur L.) Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--35--SE.

- 36 Lindskog, M. New legal minimum ages for final felling. Consequences and forest owner attitudes in the county of Västerbotten. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--36--SE.
- 1998 40 Persson, M. Skogsmarksindelningen i gröna och blå kartan - en utvärdering med hjälp av riksskogstaxeringens provytor. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--40--SE.
- 41 Eriksson, F. Markbaserade sensorer för insamling av skogliga data - en förstudie. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--41--SE.
- 45 Gessler, C. Impedimentens potentiella betydelse för biologisk mångfald. -En studie av myr- och bergimpediment i ett skogslandskap i Västerbotten. Examensarbete ISRN SLU-SRG-AR--45--SE.
- 46 Gustafsson, K. Långsiktsplanering med geografiska hänsyn - en studie på Bräcke arbetsområde, SCA Forest and Timber. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--46--SE.

### **Internationellt**

- 1998 39 Sandewall, M., Ohlsson, B & Sandewall, R.K. People's options on forest land use. - a research study of land use dynamics and socio-economic conditions in a historical perspective in the Upper Nam Nan Water Catchment Area, Lao PDR. ISRN SLU-SRG-AR--39--SE.
- 1998 44 Sandewall, M., Ohlsson, B., Sandewall, R.K., Vo Chi Chung, Tran Thi Binh & Pham Quoc Hung. People's options on forest land use. Government plans and farmers intentions - a strategic dilemma. ISRN SLU-SRG-AR--44--SE.